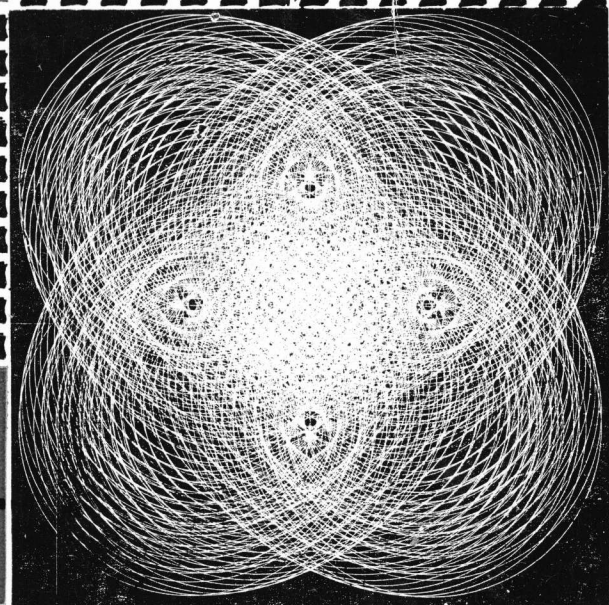
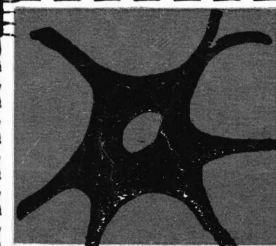
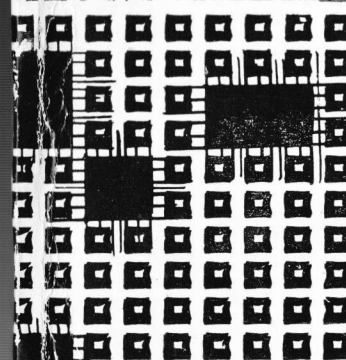
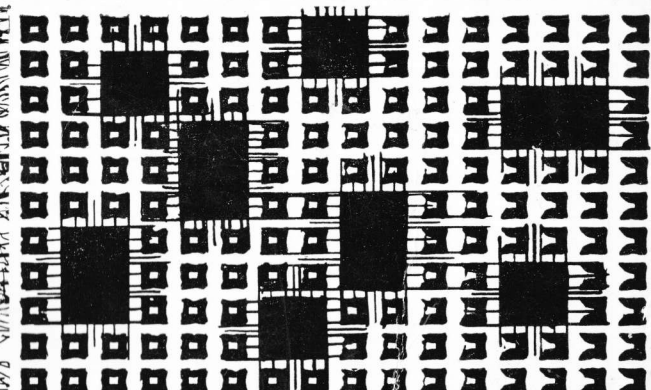


MARIANA BELIS

Mecanismele inteligenței



PREFAȚĂ

Consacrînd o lucrare de largă audiență mecanismelor inteligenței, Mariana Belîș, conferențiar la Institutul Politehnic București, face accesibilă unui public larg mutația actuală a psihologiei.

Etimologic știință a sufletului, practic știință a spiritului, această disciplină a rămas mult timp apanajul psihologilor, chiar al filozofilor. Prin aceasta era interzisă orice înțelegere a mecanismelor strategice ale inteligenței.

Studiul comportării animalelor, fiziologia nervoasă, psihofiziologia, cibernetica și informatica au autorizat în secolul al XX-lea o abordare mult mai completă și mai semnificativă.

Lucrarea Mariane Belîș rezumă posibilitățile în această direcție. Este un preludiu la analiza integrală a inteligenței genetice. Inginerie a sistemelor naturale, gîndire și inteligență artificială, toate acestea sînt legate printr-un neomecanism cibernetic atît de fecund și pluridisciplinar.

Această metodă asigură școlii românești de cibernetică o reputație internațională demnă de invidiat. Dau ca exemplu lucrarea profesorilor Bălăceanu și Nicolau: „Bazele cibernetice ale activității nervoase” care constituie o remarcabilă sinteză neurocibernetică.

Inginer în radiocomunicații, Mariana Belîș poate aplica în biologie și psihologie modele utilizate în tehnica transmisiunilor.

În teza sa de doctorat ea a analizat sistemele automate capabile de învățare, capabile, deci, nu numai de a memora ci și de a selecta și utiliza datele privilegiate.

Desfășurînd o intensă activitate științifică, în 1967 este numită vicepreședintă a secției de Mașini Semantice la cel de al 5-lea Congres Internațional de Cibernetică de la Namur. În 1968 este aleasă în Comitetul Direcției de Cercetări a Institutului de Înalte Sinteze din Nisa.

În 1969 este invitată să țină un curs de cibernetică la Facultatea de Științe din Lyon (Franța) în fața unui public format din psihologi, neurologi, medici și fizicieni. În această perioadă elaborează împreună cu profesorii Legay și Croze un model al evoluției organice.

Între timp, aportul original al comunicărilor sale este remarcat în diverse congrese internaționale și publicat în diverse reviste de specialitate din R. F. a Germaniei, S.U.A., Italia, Anglia, Cehoslovacia, Olanda, Franța ș.a.

Succesul Marianeii Beliş se datorește nu numai întinderii cunoștințelor și valorii cercetărilor sale dar și spiritului său pedagogic, pus în slujba științei și a țării sale.

Încă din 1966 Institutul de Înalte Sinteze stabilește relații privilegiate cu oamenii de știință români. Astfel, iubeam România chiar înainte de a fi pătruns în această țară.

Vizita mea în august 1975 a confirmat din plin această simpatie profundă.

Invitat de către Comitetul Român de Organizare a Congresului Internațional de Cibernetică și Sisteme și de către Ministerul Afacerilor Externe am avut parte peste tot de o primire călduroasă atât din partea autorităților cît și a populației.

Un eveniment excepțional a încoronat acest Congres. Președintele Republicii Socialiste România, Excelența Sa Nicolae Ceaușescu a binevoit să-mi acorde o lungă și cordială întrevvedere. Cordialitatea Șefului de Stat, urările de succes pe care le-a făcut Institutului de Înalte Sinteze au avut un ecou deosebit în cele douăzeci și două de țări reprezentate în sinul acestui organism.

În acest context de cooperare internațională ne este deosebit de plăcut să prefațăm excelenta lucrare a Marianeii Beliş despre care românii vor fi mîndri să afle că se numără printre savanții notorii ai ciberneticii mondiale.

JACQUES PETREL
Membru al Academiei de Științe
din New York
Director al Institutului de Înalte
Sinteze
NISA-FRANȚA

CAPITOLUL I

Spre dezlegarea propriilor enigme

„Această nouă știință, la a cărei apariție am contribuit, duce la realizări tehnice care, după cum am arătat, creează uriașe posibilități și de bine și de rău.“

NORBERT WIENER

1. Sisteme informaționale biologice și tehnice

Apariția și evoluția vieții pe pământ, mecanismele care permit ființei vii să se integreze în mediul înconjurător, supraviețuind în condiții necunoscute și uneori ostile, transmițându-și caracteristicile de-a lungul generațiilor constituie una dintre problemele care au frământat de veacuri mintea omului. Dacă de la Darwin încoace mecanismul evoluției a fost lămurit în liniile sale generale iar Watson și Crick au arătat cum se transmit caracterele pe cale ereditară; dacă Harvey a descoperit cum se face circulația sangvină iar Ramon y Cajal a pătruns în tainele celulei nervoase; dacă mii și mii de alți cercetători au explicat o bună parte din procesele vitale, totuși o serie întreagă de enigme încă mai persistă. Cum a apărut prima celulă vie? Cum s-au format caracteristicile esențiale ale vieții: reproductibilitatea, excitabilitatea, autoreglajul etc.? Care este legătura dintre procesele psihice și cele fiziologice? Cum se desfășoară formele superioare ale activității nervoase? și multe altele. Cercetători din cele mai variate domenii caută răspunsuri la aceste întrebări. Biologi, psihologi, neurologi, fizicieni, matematicieni și, de curând, tehnicieni se străduiesc să descopere esența și mecanismul celui mai pasionant fenomen de pe planeta noastră.

tră, viața, și în special forma sa superioară de organizare, omul.

Produs al unei lungi evoluții, omul a stratificat în complexitatea sa morfologică și funcțională, experiențele a milioane de generații. Un studiu analitic detaliat al ființei umane riscă să piardă din vedere unitatea funcțională a ansamblului. Un studiu global al sistemului, văzut din exterior, riscă să fie superficial fiind lipsit de cunoașterea structurii intime.

O înțelegere mai temeinică a funcționării ființelor vii s-a putut face numai prin combinarea, într-o viziune sistemică, a unei cantități uriașe de date, acumulate de-a lungul timpului, cu ajutorul unei aparaturi în continuă perfecționare. Astfel, de-abia în secolul nostru au putut fi înțelese mecanismele metabolice, cele ale reglajului hormonal, ale transmisiei informației genetice, pentru a da numai câteva exemple.

Mult mai dificil însă este studiul mecanismelor psihice, ale activității nervoase superioare. Fără a mai vorbi de dificultățile de ordin experimental, care se ridică în calea studierii creierului în activitate, mai există și o altă cauză, principială, care îngreuiază acest studiu.

În prima jumătate a secolului nostru, matematicianul austriac Gödel a demonstrat că un sistem formal nu poate fi descris prin mijloace proprii în mod complet, deoarece pentru aceasta este necesar un metalimbaj care este cu un ordin de mărime mai complex decât limbajul utilizat de sistem.

Or, ceea ce se cere creierului omenesc este descrierea propriei sale funcționări. Aplicarea inteligenței umane asupra ei însăși și a cauzelor care au generat-o este un efort deosebit de dificil, care s-a bazat în majoritate pe introspecție și foarte puțin pe date experimentale. Iar formalizarea acestei funcționări pune problema principială a creării unui metalimbaj ce depășește posibilitățile creierului însuși.

De aceea, când Wiener a întrevăzut analogia funcțională dintre om și mașină, din punctul de vedere al prelucrării informației, al comunicației și comenzilor, el a creat premisele unei noi metodologii în studierea ființelor vii, și în special a omului. Au fost abordate, cu o optică nouă, fenomenele biologice și psihologice, relațiile

dintre om și mediul înconjurător, fenomenul eredității, mecanismele evoluției.

Conceptele de sistem, informație, autoreglaj, comunicație, control, optimizare, au trecut din domeniul tehnic în cel biologic, aruncând o lumină nouă asupra proceselor vitale. Interesul a început să se deplaseze de la studierea schimburilor energetice între om și mediul înconjurător, la studierea transferului de informație, la comunicația între el și mediu.

Omul a început să fie privit ca un sistem informațional¹: ca un sistem capabil de a recepționa informația din mediul înconjurător, de a o clasifica și memoriza, de a o prelucra, în vederea elaborării unor decizii optime.

Omul a început să fie privit ca un „organism cibernetic“, dotat cu „intrări“ și „ieșiri“, cu mecanisme homeostatice de reglare a diversilor parametri.

Într-o perspectivă mai largă, evoluția însăși a sistemelor biologice apare ca o succesiune de schimbări ce permit o mai bună organizare a informației, în vederea comunicației și comenzilor. „Sistemele informaționale evolutive au pornit de la automatele moleculare reproductive (moleculele de acid dezoxiribonucleic), au progresat spre sistemele informaționale mobile ale protozoarelor, spre comportamentele reflexe ierarhizate ale vertebratelor, spre sistemele informaționale instinctive ale insectelor, spre organizarea adaptivă a informației la mamifere, pentru a culmina cu sistemul informațional cult, simbolic și autoorganizabil al omului. Numai la om a putut fi informația eliberată din închisoarea primitivă a țesutului viu, pentru a fi exteriorizată în forme palpabile și durabile...“². Iată un nou limbaj care se aude în științele naturii, în științele legate de om.

Dar dacă una din componentele evoluției — poate chiar unica — o constituie formarea de sisteme informaționale din ce în ce mai complexe, capabile de a prelucra o cantitate cât mai mare de informație în vederea comunicației și deciziilor, dacă această proprietate a constituit un

¹ EDMOND NICOLAU, *Omul informațional*, Editura Junimea, București, 1971.

² HAROLD SACKMAN, *Computers, System Science and Evolving Society*, Wiley, 1967.

criteriu de selecție, conferind un avantaj în lupta pentru existență — în mediul natural și mai târziu în cel social — atunci este firesc ca oamenii să fi căutat să-și dezvolte prin toate mijloacele capacitatea de prelucrare a informației.

Nemulțumiți de posibilitățile proprii, la început în ceea ce privește viteza de calcul, mai târziu, după cum vom vedea, în ceea ce privește chiar sfera deciziei, oamenii și-au construit din cele mai vechi timpuri, auxiliare în acest sens.

Abacele utilizate în vechea Chină și în Egipt, planetariumul de tip analogic din Grecia antică, mașina digitală de adunat a lui Pascal (sec. 17) care, perfecționată mai târziu de către Leibniz (sec. 18), putea efectua cele patru operații precum și extragerea rădăcinii, mașina de calcul a lui Babbage (sec. 19), practic strămoșul calculatoarelor digitale, în sfârșit, Mark I, primul calculator electromecanic realizat de IBM în 1944 și urmat îndeaproape de ENIAC*, primul calculator electronic, realizat în 1946 la Universitatea din Pennsylvania — toate aceste exemple ca și multe altele — stau mărturie a efortului milenar al omului de a-și amplifica posibilitățile cerebrale. Acest efort s-a intensificat considerabil în cea de-a doua jumătate a secolului nostru când, datorită în special progreselor tehnologice realizate în electronică, numărul și performanțele calculatoarelor au crescut într-un ritm nemai-întâlnit.

Dotate cu circuite „logice“, cu „memorii“, cu „organe“ de intrare și de ieșire, aceste „sisteme de calcul“ au pătruns în viața oamenilor, cu care colaborează în mod eficient. Omul îi formulează mașinii problema, i-o transcrie într-un limbaj accesibil, îi indică și calea uneori foarte laborioasă și lungă prin care poate s-o rezolve. Mașina execută instrucțiunile primite cu o viteză ce depășește cu multe ordine de mărime pe aceea a omului și îi livrează acestuia, sub o formă accesibilă, rezultatul.

Un dialog promițător s-a înfiripat între aceste două categorii de calculatoare, cel biologic și cel electronic, din a căror strădanie comună s-au obținut rezultate spectaculoase : procese industriale complexe conduse automat

* *Electronic Numerical Integrator and Calculator.*

cu finețe și precizie, vehicule spațiale ce explorează planetele sistemului nostru solar, producerea și stăpânirea uriașelor energii nucleare, calcule, studii și proiecte complicate realizate într-un timp record etc. Multe din realitățile vieții de azi nu pot fi concepute în afara acestei colaborări. Dar cum este oare posibil ca omul, ființă complexă, cu o organizare superioară să poată „colabora“ cu un sistem inert, în domeniul activității intelectuale? Pentru a înțelege posibilitățile și limitele acestei colaborări să vedem, pe scurt, care sînt asemănările și deosebirile între cei doi parteneri.

Organizarea internă a unui calculator digital se poate urmări pe schema bloc din figura 1.1. Datele de intrare sînt introduse sub formă de numere și instrucțiuni în

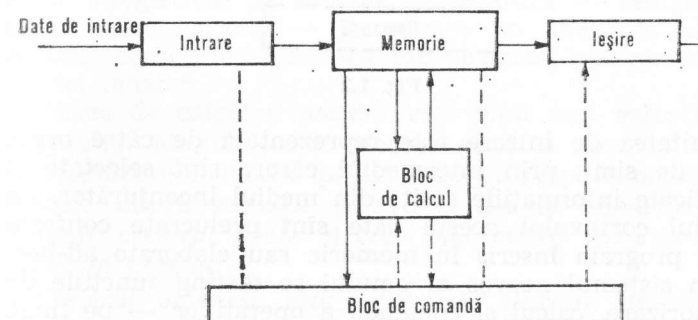


Fig. 1.1

unitatea de intrare care este de exemplu, un cititor de cartele perforate. Aceste date sînt înmagazinate în unitatea de memorie, din care sînt apoi extrase pentru a fi prelucrate de blocul de calcul. Unele rezultate intermediare sînt trimise înapoi, în memorie, pentru a servi în calcule ulterioare. Succesiunea desfășurării operațiilor este comandată de blocul de comandă care, programat de om, intervine în funcționarea fiecăruia din blocurile componente. În sfârșit, rezultatele calculelor sînt livrate omului prin intermediul unității de ieșire care transformă semnalele electrice într-o formă inteligibilă : litere, grafice etc.

Dacă acum vom lua în considerare sistemul biologic cel mai perfecționat de prelucrare a informației, omul,

vom obține o schemă de organizare întrucîtva similară (fig. 1.2). Este meritul ciberneticii de a fi scos în evidență această similitudine, de a fi orientat atenția cercetătorilor spre aprofundarea și exploatarea acestei similitudini.

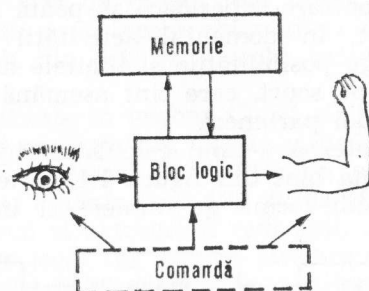


Fig. 1.2

Unitatea de intrare este reprezentată de către organele de simț, prin intermediul cărora sînt selectate și codificate informațiile sosite din mediul înconjurător. La nivelul cortexului aceste date sînt prelucrate conform unui program înscris în memorie sau elaborate ad-hoc. Și în sistemul nervos al omului se disting funcțiile de memorizare, calcul și comandă a operațiilor — pe lângă multe alte funcții, neîntîlnite la mașină. Localizarea lor nu este însă atît de precisă existînd, se pare, o suprapunere de funcții pe aceleași circuite neuronale. În sfîrșit, în urma prelucrării informației, omul se poate manifesta într-un mod oarecare cu ajutorul organelor sale de ieșire: organele motorii, voce etc.

Avînd o organizare funcțională oarecum similară, ambele sisteme de prelucrare a informației — cel biologic și cel electronic — pot efectua o serie de operații comune: operații aritmetice și în general orice operații de calcul numeric, operații simbolice în logica deductivă, conducerea unor procese prin căutarea deciziei optime etc. Dar, cu toate aceste asemănări remarcabile, și uneori spectaculoase, există o serie de diferențe fundamentale între funcționarea omului și a mașinii.

O diferență importantă constă în capacitatea și organizarea memoriei. Capacitatea memoriei umane a fost evaluată la aproximativ 10^{15} biți, pe cînd memoria similară, cu acces rapid, a calculatorului are doar 10^8 biți. Cu ajutorul memoriei auxiliare, cu timp de acces ridicat, capacitatea memoriei tehnice poate ajunge la 10^{12} biți. Dar dacă se iau în considerare toate sursele auxiliare de informație ale omului, înregistrate și transmise de-a lungul generațiilor, superioritatea sa în acest domeniu este importantă. În ceea ce privește mecanismul înregistrării și al regăsirii datelor, memoria mașinii funcționează pe bază de „adrese”, fiecare unitate de informație fiind înregistrată într-o anumită celulă numerotată, în timp ce memoria umană este de tip „asociativ”, evenimentele fiind înregistrate în funcție de legătura — temporală, logică, afectivă etc. — pe care o au unele cu altele. Aceasta conferă o eficacitate incomparabil mai mare memoriei umane.

Viteza de calcul a mașinii este mult mai mare decît a omului. Mașina poate efectua pînă la zece milioane de operații elementare pe secundă în timp ce omului îi trebuie cîteva secunde pentru o simplă împărțire. În schimb, creierul poate efectua mai multe operații complexe în paralel.

Creierul omenesc este mult mai flexibil, neavînd o structură predeterminată, putîndu-se autoprograma și trece cu ușurință de la un program la altul. Mașina are o structură fixă, determinată de proiectant și funcționează în baza unui program introdus din exterior. Mai mult decît atît, defectarea unei singure piese poate scoate din funcțiune întreaga mașină, deoarece fiecare element este destinat să îndeplinească o anumită operație, bine stabilită. În creier, această repartitie nu este atît de riguroasă; în caz de distrugere a anumitor centri, creierul se reorganizează singur, alte circuite preluînd funcțiile respective, astfel încît funcționarea organismului nu se resimte.

Creierul este un organ mult mai economic. Într-un volum de 1000 cm^3 el conține cca 10^{10} neuroni, deci volumul unui neuron este de cca 10^{-7} cm^3 . Puterea consu-

mată de creierul omenesc s-a evaluat la cca 10 wați sau 10^{-9} W/neuron. Atît în ceea ce privește volumul cît și în ceea ce privește puterea consumată, dispozitivele cu care se lucrează în electronică sînt departe de aceste performanțe. Tranzistorul, circuitele integrate etc. au un volum și consumă o putere de cca 10^8 ori mai mare.

Oamenii vorbesc un limbaj redundant, format din 20 pînă la 60 de simboluri elementare în timp ce calculatorul utilizează un limbaj neredundant, format în general din două semne elementare.

Creierul este capabil de forme superioare de activitate, inaccesibile mașinii, ca gîndirea creatoare, generalizarea, elaborarea de ipoteze. Nu se cunoaște exact mecanismul acestor operații mintale dar se pare că ele nu sînt compatibile cu structura deterministă și funcționarea programată a calculatoarelor actuale.

Un efort susținut a fost făcut în ultimii ani pentru a remedia unele dintre aceste deosebiri, pentru a permite o colaborare mai strînsă între om și auxiliarul său tehnic. Progresele au fost realizate pe linia ameliorării comunicației om-mașină, în ciuda deosebirilor de limbaj și vitează de calcul, pe linia miniaturizării circuitelor și pe linia elaborării unor programe care să permită mașinii o oarecare flexibilitate, o autonomie crescîndă.

Ce este un sistem autonom și de ce strădania aceasta — aproape tot atît de veche ca și cea legată de crearea unor mașini de calcul —, pentru a realiza roboți, mecanisme independente, care să funcționeze fără ajutorul omului? Căci, naive sau ingenioase, aceste mecanisme au apărut mereu de-a lungul istoriei, continuînd pe plan tehnic tendința milenară a omului de a se reproduce în creațiile sale. Iar legenda „Golemului” realizat de rabinul din Praga și care, scăpat de sub controlul acestuia, amenința viața oamenilor, este o mărturie a neliniștii omului în fața propriilor sale creații.

Etimologic un sistem „autonom” este un sistem care se mișcă prin sine însuși, prin mijloace proprii. Prin extindere, se acordă acest calificativ sistemelor care funcționează, se conduc prin mijloace proprii, cît mai independente de om. Desigur, o independență totală nu este posibilă. Create de om, aceste sisteme sînt tributare omului prin însăși construcția și principiul lor de funcțio-

nare. Dar, prin faptul că, odată puse în funcțiune, ele reușesc să îndeplinească o operație — mai mult sau mai puțin complexă — fără intervenția omului, și uneori chiar în condiții neprevăzute de om, ele dovedesc autonomie.

Trecerea la funcționarea „în condiții neprevăzute de om” constituie un salt calitativ considerabil în istoria realizărilor tehnice. Căci, fără intervenția omului, lucrează multe sisteme tehnice, ca de exemplu, clasicul regulator de presiune cu supapă al lui Watt sau, în general, toate sistemele de reglaj automat. Ele execută o operație, sau o succesiune de operații în condiții bine determinate și de la care nu se pot abate prin însăși structura lor. Prin aceasta ele au venit în ajutorul omului pe care l-au scutit de munci repetitive, fastidioase, în general de rutină.

Înzestrarea acestor sisteme cu oarecare autonomie, la început slabă, apoi din ce în ce mai pronunțată, a devenit posibilă de-abia în epoca noastră, datorită progreselor obținute în realizarea sistemelor tehnice de prelucrare a informației. Numai prin asocierea circuitelor logice cu sistemele clasice de reglaj automat s-a trecut la clasa sistemelor cibernetice, care se pot conduce singure într-o varietate mai mare de condiții, care pot lua decizii în condiții neprevăzute de om, pentru a îndeplini un scop dat.

Roboții evului mediu simulau doar în mod naiv autonomia, căci nedisponînd de o structură logică de prelucrare a informației ei nu puteau decide asupra funcționării lor. Astăzi însă, acest lucru a devenit nu numai posibil, dar și absolut necesar.

Într-adevăr, realizarea unor sisteme tehnice autonome a devenit o necesitate imperioasă a epocii noastre și mai ales a viitorului. Complexitatea proceselor tehnologice, rapiditatea și finețea comenzilor pe care acestea le implică, varietatea parametrilor, care intervin, variațiile imprevizibile ale condițiilor externe și interne fac imposibilă intervenția directă a omului sau o programare rigidă. Pe de altă parte, era zborurilor interplanetare, care de-abia începe, implică o autonomie din ce în ce mai mare din partea sistemelor tehnice, care vor trebui să

rezolve o mare varietate de probleme, la distanțe sau în condiții în care omul nu va mai putea să le controleze.

Ce condiționează autonomia unui sistem? Care este raportul dintre programarea și gradele de libertate ale unui sistem? Cum își poate îmbunătăți un sistem performanțele pe baza prelucrării informației? Iată câteva dintre problemele care stau azi în atenția cercetătorilor din cele mai diferite specialități. Căci unii dintre ei caută să descopere caracteristicile sistemului prin excelență autonom — omul — iar alții caută să modeleze aceste caracteristici cu mijloace tehnice.

Scopul acestor cercetări și realizări este multiplu. El este, în primul rând, utilitar; așa cum s-a arătat mai sus, aceste „organisme cibernetice” sînt destinate să fie de folos omului, să-l ajute, să-l elibereze. Pe de altă parte, aceste cercetări duc la o cunoaștere mai profundă a ființei umane, a mecanismului vieții și evoluției. Dar poate mai există o explicație a efortului susținut și pasionat care se depune în vederea realizării acestor sisteme autonome, a înzestrării lor cu cele mai subtile aspecte ale inteligenței umane. Ea trebuie căutată, credem noi, în dorința permanentă a omului de a se auto-depăși prin creațiile sale, de a le înzestra cu ce are el mai de preț, inteligența, de a da materiei inerte ceva din strălucirea vieții!

Rezultatul acestui efort este un „organism cibernetic” înzestrat, ca și cel biologic — dar la altă scară, evident — cu capacitatea de a se organiza, în vederea îndeplinirii unui scop. Și pentru că cibernetica a creat o punte de legătură între biologic și inert, ambele tipuri de organisme pot fi studiate cu ajutorul acelorași concepte. Mai mult decît atît, din colaborarea lor au luat naștere niște sisteme hibride, formate din oameni și mașini care interacționează și se completează reciproc. Acestea sînt de fapt „sistemele informaționale” ale viitorului, sisteme complexe în care creierul uman și creierul artificial formează o adevărată simbioză.

Pînă unde s-a ajuns în modelarea inteligenței umane pe sistemele tehnice, care sînt laturile caracteristice ale funcționării sistemelor informaționale autoorganizabile, care sînt perspectivele simbiozei om-mașină, iată câteva dintre problemele care vor fi analizate în paginile acestei cărți.

2. Autoorganizarea sistemelor biologice și tehnice

a) Sistemele biologice sînt prin excelență sisteme autonome. Autonomia lor se datorează unor mecanisme de autoorganizare care se manifestă la diferite nivele și duc la organizarea progresivă a structurii și a acțiunilor lor, în vederea îndeplinirii unui scop, într-un mediu variabil și necunoscut. În cazul sistemelor biologice „scopul” general este supraviețuirea, crearea de condiții optime de funcționare. El se realizează prin diferite mijloace.

Adaptarea este un mecanism de autoorganizare filogenetică care se manifestă la nivelul speciei și duce, prin încercări și selecții succesive, la formarea unui sistem cu caracteristici morfologice și funcționale care îi asigură din ce în ce mai bine supraviețuirea.

Variațiile metabolice și modificările structurale adecvate reprezintă un mod de autoorganizare la nivelul individului, care îi asigură, prin variații imediate (rapide), integrarea sa optimă în mediul înconjurător.

Învățarea este tot o formă de autoorganizare care se manifestă la nivelul sistemului nervos individual și conduce la formarea unor conexiuni optime din punct de vedere al unui criteriu dat.

Aceste trei mecanisme de autoorganizare pot fi clasificate diferit, după criteriul luat în considerare.

Dacă se ia în considerare *nivelul sistemic* la care are loc procesul, atunci adaptarea va fi clasată ca un mecanism de autoorganizare ce se manifestă la nivelul sistemului de ordin superior — specia —, iar variațiile adecvate și învățarea ca mecanisme ce se manifestă la nivelul sistemului de ordin inferior — individul.

Dacă se ia în considerare *rolul blocului logic și al prelucrării informației în procesul de autoorganizare*, atunci adaptarea și variațiile adecvate vor fi clasate împreună, ca procese care nu implică participarea blocului logic, în timp ce în cadrul învățării rolul său este esențial.

În sfîrșit, dacă se ia în considerare *rolul memoriei* atunci adaptarea și învățarea sînt procese de autoorganizare cu acumulare de informație iar variația adecvată este un proces de autoorganizare instantaneu, lipsit de memorie.

b) Pentru a realiza sisteme tehnice autoorganizabile ciberneticienii au modelat diferitele mecanisme biologice menționate, combinând caracteristicile lor într-un mod original.

Cel mai ușor de imitat a fost mecanismul reacțiilor imediate, de timp metabolic, ca răspuns la variațiile în timpplătore ale mediului. Sistemele de reglaj automat imită acest mecanism (chiar dacă elaborarea lor s-a făcut pe alte căi, independent de cunoașterea mecanismului biologic). Schema bloc a unui astfel de sistem este reprezentată în fig. 1.3. Parametrul procesului controlat

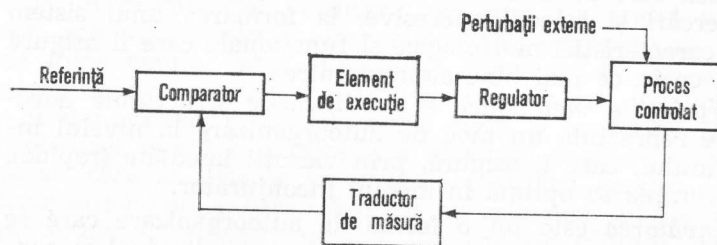


Fig. 1.3

care trebuie menținut la o anumită valoare, în ciuda perturbațiilor, este comparat în permanență (prin intermediul traductorului de măsură) cu mărimea de referință, fixată de constructor. Orice diferență între aceste mărimi determină, prin intermediul elementului de execuție și a regulatorului, readucerea parametrului la valoarea dorită.

Pentru a înzestra sistemul de reglaj automat cu proprietăți adaptive și instruibile, el a trebuit să fie completat cu circuite de calcul și de memorie astfel ca, aidoma sistemelor biologice, el să poată prelucra și înregistra informația pentru a o folosi în cursul funcționării sale. Schema clasică ia forma din fig. 1.4, în care rolul blocului logic cu memorie este deseori jucat de un calculator, ce preia o parte din atribuțiile omului. Astfel, dacă la variația condițiilor externe, programul de funcționare al sistemului de reglaj trebuie schimbat, această schimbare nu mai este comandată de către om, ci de către blocul de calcul. Iar dacă omul — și deci calculato-

rul — nu cunoaște programul adecvat, calculatorul face diverse încercări și se adaptează singur noilor condiții, având bineînțeles, un criteriu de performanță dat.

Autoorganizarea sistemelor — tehnice și biologice — este o proprietate fundamentală pentru asigurarea funcționării optime într-un mediu variabil și necunoscut.

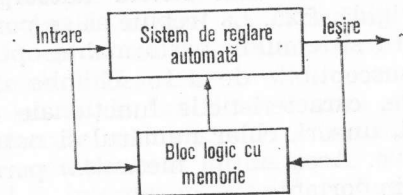


Fig. 1.4

c) *Caracteristicile generale ale sistemelor autoorganizabile.*

În legătură cu cele spuse în paragraful precedent, părțile componente ale unui sistem autoorganizabil (tehnic sau biologic) sînt următoarele (fig. 1.5).

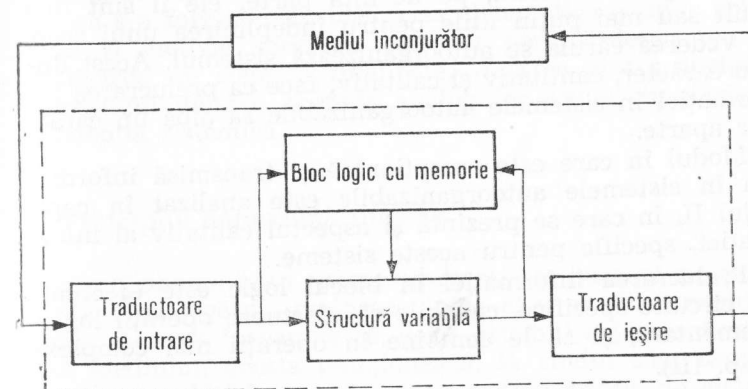


Fig. 1.5

Traductorii de intrare și de ieșire permit sistemului să comunice cu mediul înconjurător. Natura și performanțele acestor traductori condiționează în mare măsură posibilitățile de autoorganizare ale sistemului.

Din punctul de vedere al transmisiei informației între sistem și mediu, traductorii de intrare reprezintă filtre sau codificatori care transmit informația, deformând mai mult sau mai puțin unele mesaje, suprimând complet o bună parte și transpunându-le, în general, pe alt suport fizic.

Structura internă a unui sistem autoorganizabil nu trebuie să fie rigidă, fixă. Ea trebuie să se poată schimba, pentru a asigura sistemului performanțe optime.

Elementele susceptibile de a se schimba sînt parametrii, conexiunile, caracteristicile funcționale sau programul, precum și, uneori, chiar numărul și natura elementelor constitutive. Acest ultim mecanism permite schimbări calitative importante.

Dinamica schimbărilor structurale și modul în care acestea sînt comandate, depind de tipul sistemului autoorganizabil.

Blocul logic primește sub formă codificată, prin intermediul traductorilor de intrare, informațiile privitoare la mediul exterior. Aceste informații au un dublu caracter: pe de o parte ele sînt mai mult sau mai puțin neprevăzute pentru sistem, pe de altă parte, ele îi sînt mai mult sau mai puțin utile pentru îndeplinirea unui scop, în vederea căruia se autoorganizează sistemul. Acest dublu caracter, cantitativ și calitativ, face ca prelucrarea informației în sistemele autoorganizabile să aibă un caracter aparte.

Modul în care este recepționată și transmisă informația în sistemele autoorganizabile este analizat în capitolul II, în care se prezintă și aspectul calitativ al informației, specific pentru aceste sisteme.

Prelucrarea informației în blocul logic este efectuată de circuite specifice, capabile să efectueze operații logice elementare, și să le combine în operații mai complexe (cap. III).

Posibilitatea de a înregistra experiența trecută pentru a o folosi ulterior este o caracteristică importantă a sistemelor inteligente (cap. IV).

Prin prelucrarea informației de care dispune, sistemul ia o decizie în vederea îndeplinirii unui scop. Dar, pentru a decide asupra unei acțiuni viitoare, sistemul trebuie

să facă o serie de pronosticuri, să prevadă desfășurarea anumitor fenomene (cap. VI).

Îmbunătățirea algoritmilor de care dispune sistemul la un moment dat, perfecționarea progresivă a activității sale pe baza experienței acumulate presupun posibilitatea de a învăța din experiență (cap. VII).

În sfîrșit, perspectivele pe care le deschide această colaborare „cerebrală” dintre om și mașină, acest transfer de inteligență de la om la mașină și reciproc sînt schițate în capitolele VIII și IX.

Diversele laturi ale funcționării unui sistem autoorganizabil, enumerate mai sus, sînt intim corelate, influențându-se și condiționîndu-se reciproc. Studiul fiecăreia dintre ele și a interdependenței lor, face apel la discipline diferite, ale căror noțiuni fundamentale sînt utilizate în cadrul diferitelor capitole. Aceste discipline sînt: teoria informației, logica matematică, teoria deciziei, teoria probabilității, teoria reglajului automat, teoria automatelor deterministe și aleatoare, teoria sistemelor.

Dar, în afara acestor elemente teoretice disparate, împrumutate de la diversele discipline menționate, cibernetica s-a format prin utilizarea sistematică a unor principii și metode specifice care au permis descrierea și realizarea de sisteme finalizate. Acestea sînt principiul conexiunii inverse, metoda analogiilor sau a simulării și concepția sistemică.

3. Principiul conexiunii inverse

Funcționarea unui sistem cibernetic se bazează pe existența unei legături reciproce între el și mediul înconjurător. Aceasta înseamnă că, dacă sistemul acționează asupra mediului, acesta reacționează, la rîndul său, asupra sistemului. Altfel spus, la orice semnal trimis de sistem în mediu, acesta îi răspunde cu un alt semnal, prin calea așa-numită a „conexiunii inverse”. Dacă această cale ar fi tăiată, adică dacă sistemul nu ar primi informație asupra rezultatelor acțiunilor sale, el nu ar ști cum să modifice progresiv aceste acțiuni pentru a-și atinge scopul. În acest caz, sistemul nu ar mai avea o funcționare

cibernetică care este caracterizată prin finalitate. „În definitiv — scrie François Jacob¹ — orice sistem organic poate fi analizat pe baza a două concepte: acela de mesaj și acela de reglaj prin retroacțiune“.

Unii autori au mers pînă la a defini cibernetica ca „știința proceselor cu conexiune inversă“, datorită importanței acestui mecanism pentru desfășurarea proceselor cibernetice.

Dar, conexiunea inversă sau feed-back-ul este un fenomen mult mai general, care depășește cu mult cadrul proceselor cibernetice.

Retroacțiunea (sau conexiunea inversă) este un fenomen atît de răspîndit în natură încît filozofii tuturor timpurilor au fost de acord că el constituie o proprietate generală a conexiunilor cauzale prin care efectul reacționează asupra cauzei care l-a produs.

Oamenii de știință au formulat legi binecunoscute care pun în evidență acest fenomen ca principiul acțiunii și reacțiunii din mecanică, legea lui Lenz din electromagnetism, efectul piezoelectric direct și invers, reacțiile nucleare în lanț etc.

Rolul conexiunii inverse în anumite procese biologice a fost și el observat mai demult, dar Norbert Wiener este cel care a sesizat primul, importanța conexiunii inverse în cadrul proceselor de comandă și control care au loc în om și mașină.

Se pot distinge două tipuri de retroacțiuni (sau reacții), denumite în electronică „pozitive“ și „negative“ și care conduc la procese fizice total diferite.

În cazul reacției pozitive, efectul întărește cauza care l-a produs, ceea ce duce din nou la întărirea efectului și așa mai departe. Prin întărirea reciprocă cauză-efect, se obține o dezvoltare progresivă a fenomenului inițial care devine un fenomen evolutiv. Această dezvoltare poate să se continue în mod nelimitat, ceea ce duce fie la transformarea calitativă a sistemului, fie la distrugerea lui. Dacă există fenomene antagoniste care se opun acestei

¹ FRANÇOIS JACOB, *La logique du vivant*, Gallimard, 1970 (ediția română *Logica viului*, Ed. enciclopedică română, București, 1975).

dezvoltări, atunci se produce o limitare și fenomenul devine staționar.

În cazul reacției negative, efectul se opune cauzei care l-a produs, ceea ce poate duce la o micșorare progresivă și chiar la dispariția fenomenului inițial.

Din punct de vedere tehnic aceste două tipuri de reacții au fost studiate pe larg și sînt definite riguros cu ajutorul noțiunilor de fază, polaritate a semnalului etc. În domeniile biologic, social, economic un formalism adecvat rămîne încă de elaborat pentru acest concept. Numeroase fenomene din aceste domenii pot fi studiate și înțelese mai bine, luînd în considerare mecanismul conexiunii inverse.

Iată cîteva exemple, în acest sens, din lumea biologică. Înmulțirea unei specii este un fenomen evolutiv care se limitează prin fenomene antagoniste ca lupta cu alte specii sau resursele nutritive limitate ale mediului ambiant.

Multiplicarea celulelor canceroase este de asemenea un fenomen evolutiv care, dacă nu e contrabalansat, poate duce la distrugerea sistemului.

Însăși apariția vieții pe pămînt a fost privită de unii autori ca întărirea progresivă a fenomenului de conexiune inversă. Iată ce spune în această privință Paul Postelnicu, într-o lucrare de pionierat^{1,2}. „Ne întrebăm dacă această trecere de la materie la viață nu s-a făcut în felul următor: datorită hazardului, o particică materială, în diversele schimbări fizico-chimice pe care le-a suferit, a căpătat o proprietate caracteristică, specifică, pe care o numim vitală, însă infinit apropiată de cea a materiei. Presupunem că specificul acestei organizări îl formează tocmai conexiunea inversă, adică această primă organizare a materiei vii sub formă de viață a avut caracterul unui sistem cu conexiune inversă. Acest sistem, datorită conexiunii inverse și datorită condițiilor favorabile întîlnite în mediul înconjurător, a devenit progresiv, evoluînd sub influența mediului și a hazardului“.

¹ În V. SĂHLEANU, *Cu privire la preistoria ciberneticii*, Revista de filozofie, Ed. Acad. R.S.R., tomul 14, nr. 8, 1967.

² PAUL POSTELNICU, *Ipoteza complexului vicios (a sistemelor cu conexiune inversă)* în „Telecomunicații“, 1, 2, 1968.

Sistemele cibernetice — biologice sau tehnice — utilizează conexiunea inversă. Ele acționează asupra mediului înconjurător și așteaptă efectul acestei acțiuni, pentru a putea alege acțiunea ulterioară. Dacă efectul este favorabil scopului urmărit, el constituie o retroacțiune pozitivă, care va întări acțiunea inițială a sistemului. Dacă efectul este defavorabil scopului urmărit (retroacțiune negativă) sistemul va abandona acțiunea inițială, căutând alta.

Prin jocul succesiv al reacțiilor pozitive și negative, un sistem cibernetic reușește să găsească strategia necesară îndeplinirii scopurilor sale. Acest mecanism stă, de fapt, la baza funcționării sistemelor clasice de reglaj automat. Caracterul cibernetic al acestor sisteme se accentuează pe măsură ce se dezvoltă capacitatea lor de prelucrare a informației. Aceasta le dă posibilitatea de a utiliza mai eficient legătura informațională cu mediul și, în special, calea conexiunii inverse. Semnalele venite pe această cale privitor la „rezultatele” acțiunilor efectuate sînt mai complexe și pot servi la orientarea sistemului spre îndeplinirea unor scopuri mult mai generale.

4. Rolul modelelor și al simulării în cibernetică

Cibernetica a luat naștere din observarea că, între funcționarea omului și aceea a unor dispozitive tehnice, există o analogie din punctul de vedere al prelucrării informației. Analogia este o relație de asemănare între două obiecte oarecare, fie din punct de vedere structural, fie din punct de vedere funcțional. Ea poate să se manifeste între laturi secundare sau, dimpotrivă, fundamentale ale obiectelor respective.

Analogia descoperită de Wiener între om și mașină din punctul de vedere al prelucrării informației este o analogie funcțională fundamentală care avea să genereze o nouă metodă de cercetare științifică.

Intr-adevăr, complexitatea fenomenelor pe care științele moderne le cercetează, viteza de desfășurare, prea mare sau prea mică pentru a permite urmărirea directă, precum și energiile sau cheltuielile considerabile pe care le necesită, îngreuiază sau chiar exclud uneori un studiu

experimental direct. Aceste fenomene pot fi studiate mai ușor, dacă în locul lor se utilizează sisteme dispunând de o altă structură fizică dar care prezintă o analogie funcțională cu sistemul real, din punct de vedere al aspectului studiat, fără a mai avea inconvenientele menționate. Așa, spre exemplu, procesele energetice din reactoarele nucleare, fenomenele care au loc la pompajul de adîncime de la sonde, sau în sfîrșit unele procese mintale au putut fi studiate cu ajutorul unor circuite electrice, în care parametrii electrici L , C , R , precum și alte mărimi electrice ca tensiunea, curentul, frecvența, au fost puse în corespondență cu parametri fizici ai sistemului original.

Acest nou sistem formează un *model fizic funcțional* al sistemului original și funcționarea sa *simulează* anumite aspecte ale funcționării originalului.

Analogie, modelare, simulare, iată procedeele de investigație ale ciberneticii, și care au devenit, ulterior, metode generale de cercetare științifică. Căci, cu toate că încercări de modelare au mai fost făcute în mod izolat, cibernetica este prima știință care le-a ridicat la rangul de metodă și le-a utilizat în mod sistematic.

În afară de modelele fizice, știința cunoaște mai demult modelele teoretice (sau matematice) ale fenomenelor. Un model teoretic este un ansamblu de relații matematice ce descriu raporturile fizice existente între mărimile luate sub observare.

Elaborarea modelului matematic al unui proces fizic permite înțelegerea mai aprofundată a desfășurării sale, înseamnă trecerea de la descrierea calitativă la cea cantitativă. Această trecere reprezintă un efort considerabil de abstractizare, de cercetare metodică. Au trebuit să treacă multe secole pentru a ajunge de la simpla constatare că, împingînd un corp, el se mișcă, la modelul teoretic al acestui fenomen, dat de Newton sub forma $F = m \cdot a$ (forța este egală cu masa înmulțită cu accelerația).

Mai mult decît atît, cunoașterea modelului teoretic permite realizarea unui model fizic, de orice natură, ale cărui componente ascultă de aceleași relații și care simulează deci fenomenul inițial.

Nu întotdeauna simularea unui proces se face trecînd prin forma de maximă generalitate a modelului matematic. În lipsa acestuia, simularea se face prin corespondența directă între mărimile fizice. Atunci însă cînd există și un model teoretic, fenomenul original poate fi studiat mult mai temeinic.

Studiul unui proces prin simulare este îngreuiat uneori de lipsa de versatilitate a modelelor fizice specializate, care nu permit o ajustare continuă a parametrilor, în funcție de modificările modelului teoretic, ca urmare a aprofundării fenomenului original.

O structură versatilă, comodă de utilizat și dispunînd de un mare număr de grade de libertate, este calculatorul electronic, care a dat posibilitatea simulării unei mari diversități de procese.

Modelele teoretice care se pretează simulării pe calculator se numesc *algoritmi*. Un algoritm este o succesiune de operații care conduce la rezultatul dorit. După ce algoritmul unui proces fizic a fost elaborat, el poate fi programat, ceea ce permite simularea procesului pe calculator.

Dacă metoda modelării este una din metodele ciberneticii, calculatoarele sînt dispozitivele principale de lucru ale acesteia.

Metoda analogiilor precum și studiul proceselor prin modelare s-au dovedit fructuoase în multe domenii științifice, și mai ales în studiul proceselor biologice, psihologice și neurologice, a fenomenelor vitale, specifice umane.

5. Concepția sistemică

Cu toate că formalismul riguros al „teoriei sistemelor” a fost elaborat în cadrul științelor exacte, principiile de bază ale acestei noi concepții au apărut în științele naturii, mai exact în biologie. Dealtminteri, tocmai în acest domeniu s-a resimțit mai stringent necesitatea unui nou mod de a gîndi.

Complexitatea organizării sistemelor vii a determinat în mod natural cercetări de tip analitic. Studiile s-au axat pe anumite aspecte morfologice, fiziologice sau de com-

portare a ființei vii, aspecte care au fost izolate de fenomenele adiacente și studiate în profunzime. Acest mod de cercetare s-a dovedit fructuos, furnizînd o cantitate considerabilă de informații mai întîi calitative apoi cantitative, pe măsura perfecționării aparatului.

Dar, în majoritatea cazurilor, informațiile acumulate asupra unor elemente disparate nu permit înțelegerea funcționării sistemului complex din care acestea fac parte. Sistemul posedă proprietăți noi, care n-au putut fi decelate nici măcar sub o formă rudimentară, în componentele studiate. Funcționarea aparatelor respirator și circulator nu poate fi înțeleasă studiînd separat plămînul sau inima. Acestea trebuie studiate în interacțiune, în afara căreia nu se poate înțelege funcționarea sistemului biologic care le înglobează.

Acest impas a dat naștere unei concepții „vitaliste” a fenomenelor biologice, care căuta o explicație de altă natură, acolo unde explicațiile analitice ale „mecaniciștilor” eșuaseră.

În 1930 Ludwig von Bertalanffy¹ propunea o nouă concepție asupra organizării ființelor vii, concepție numită de el „organismică” dar care conținea ideile fundamentale ale actualei teorii a sistemelor. „Găsim în natură o arhitectură formidabilă, în care sisteme subordonate sînt unite la nivele succesive în sisteme din ce în ce mai largi, de ordin superior”².

Autorul arată că analiza părților și proceselor elementare este o etapă necesară, dar insuficientă în studiul sistemelor vii. Un organism este un complex de elemente în interacțiune. Ca atare, proprietățile sale nu depind numai de proprietățile componentelor (a căror cunoaștere este, dealtminteri, necesară), dar, de asemenea, și mai ales, de interacțiunile lor. Aceste interacțiuni dau naștere unor proprietăți noi, diferite calitativ și care nu pot fi obținute din însumarea proprietăților elementare. Sistemul în ansamblul său se bucură de o *organizare specifică* și de o *integritate*. Astfel, de exemplu, prin funcționarea corelată a diferitelor organe ale unui animal se

¹ L. von Bertalanffy, *Theoretische Biologie*, vol. I, II, Viena, 1930.

² Idem, *Problems of Life*, Harper, New York, 1952.

obțin funcțiunile vitale, globale, ale individului : metabolism, respirație, nutriție, reproducere, locomotie etc.

În natură, fiecare sistem se compune din elemente și este în același timp el însuși un element în cadrul unui sistem de ordin superior. Se observă în natură o ordine ierarhică care merge de la simplu la complex. Structurile chimice și coloidale sînt integrate în celule, acestea la rîndul lor sînt unite în țesuturi care formează organe și sisteme de organe. În fine se ajunge la organisme (indivizi) și la unitățile supraindividuale de viață (specii etc.). Toate acestea se bazează pe alte ierarhii, formate din unități elementare de materie : electroni, neutroni, protoni ce formează atomii, apoi moleculele (anorganice și organice) și, în fine, macromoleculele considerate ca unități biologice elementare.

Fiecare nivel de organizare a sistemelor vii are legile sale specifice. Studiul relațiilor care există între aceste legi la diverse nivele pe scara evoluției sistemelor vii a dus la o înțelegere mai profundă și unitară a problemelor fundamentale ale biologiei ¹.

În paralel cu această dezvoltare a gândirii biologice, dezvoltarea tehnică și științifică a secolului nostru, conceptele ciberneticii, complexitatea organizațiilor economice și sociale au pus problema elaborării unei „științe de sistem” capabilă de a formaliza funcționarea diferitelor sisteme dintr-un punct de vedere general și unitar. Această știință trebuia să dispună de un formalism suficient de abstract pentru a putea descrie funcționarea unor sisteme foarte disparate, dar în același timp să poată fi utilizabil în studiul și calculul unor sisteme concrete.

Astfel a luat naștere, la mijlocul secolului nostru, „teoria sistemelor” ² ale cărei elemente de bază își au originea în teoria automatelor, teoria reglajului, teoria sistemelor electrice liniare și neliniare. Formalismul său este legat de teoria spațiilor vectoriale, a ecuațiilor dife-

¹ N. BOTNARIUC, *The Wholeness of Living Systems and Some Basic Biological Problems*, în „General System”, vol. II, 1966 (U.S.A.).

² L. A. ZADEH and CH. A. DESOER, *Linear System Theory*, Wiley, 1953.

rențiale, a variabilelor complexe, de transformatele Laplace și Fourier, de algebra liniară etc.

Un obiect fizic, A , este, din punctul de vedere a teoriei sistemelor, o entitate abstractă asociată cu o mulțime de atribute sau variabile $v_1, v_2, \dots, v$, între care există anumite relații. Variabilele v_i asociate unui obiect se numesc „variabile terminale” întrucît ele se găsesc la bornele terminale (de intrare și de ieșire) ale obiectului. Reprezentarea grafică a unui obiect este aceea a „cutiei negre” (fig. 1.6) în care s-au notat prin x , variabilele terminale de intrare și prin y , variabilele terminale de ieșire. O relație funcțională importantă este relația dintre variabilele de intrare și cele de ieșire.

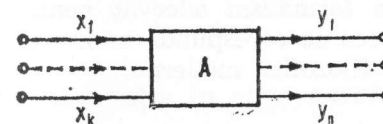


Fig. 1.6

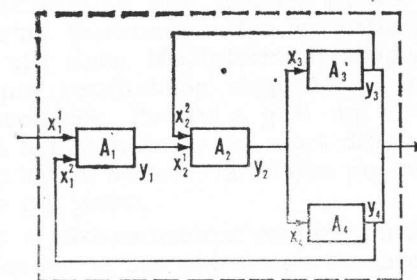


Fig. 1.7

Un sistem este un ansamblu de obiecte interconectate (fig. 1.7) astfel încît ieșirile unor obiecte componente sînt intrări ale altora. Evident și la nivelul sistemului deosebim intrări și ieșiri.

O noțiune importantă în teoria sistemelor este aceea de „stare” văzută ca un punct (sau un vector) într-un spațiu multidimensional (spațiul stărilor). Cunoașterea stării și a intrării unui sistem, permite determinarea ieșirii.

Cu ajutorul acestor noțiuni, și a altora de aceeași generalitate, se pot studia o serie întreagă de fenomene, calitativ diferite, obținându-se astfel o viziune unificatoare. Prin aceasta teoria sistemelor răspunde unei necesități de ordin practic care se făcea simțită în științele naturale și tehnice dar și unei tendințe profunde a spiritului uman de a sesiza în mod sintetic disparitatea universului înconjurător.

Formalismul teoriei sistemelor ținând cont de factorul timp permite studiul evoluției structurilor, nu printr-o serie de instantanee luate la momente diferite ci prin urmărirea schimbărilor infinitezimale, întrucât aparatul matematic utilizat este cel al analizei și calculului infinitezimal.

Teoria sistemelor oferă un formalism adecvat pentru un „structuralism dinamic” ceea ce corespunde unor exigențe imperioase ale gândirii filozofice moderne.

CAPITOLUL II

Mecanismul comunicării

„Cel mai rapid lucru este mintea
căci fuge peste tot.”

THALES

1. Informație în sens curent și informație în tehnică

Sensul științific al noțiunii de *informație* a fost obținut prin abstractizarea semnificațiilor sale uzuale. În vorbirea curentă a se informa înseamnă a lua cunoștință de anumite evenimente sau date. Ne informăm asupra mersului trenurilor, asupra rezultatelor alegerilor, asupra unei descoperiri arheologice. Pentru a găsi un formalism în acest domeniu a fost necesar un efort de abstractizare considerabil având în vedere varietatea de informații particulare ce se pot primi.

A abstractiza înseamnă a găsi caracterul comun, general, al unei mulțimi de fenomene sau obiecte particulare. Or, ceea ce este comun tuturor informațiilor particulare este faptul că ele nu sînt cunoscute dinainte de către cel ce le primește. Cu alte cuvinte, caracterul lor comun constă în aceea că îndepărtează o incertitudine. Informație și incertitudine sînt două noțiuni corelate care se exprimă cu ajutorul aceluiași formalism. Acest formalism neglijează obiectul particular al incertitudinii și ia în considerare numai *existența* acestei incertitudini și *mărimea* ei. Este de remarcă că ambele aspecte sînt legate de observator. Informația nu există în mod absolut ci în legătură cu un sistem receptor de informație.

Pe aceste considerente a luat naștere *teoria informației*. Bazele acestei noi discipline au fost puse în anul 1948, când C. E. Shannon a publicat lucrarea sa fundamentală: „O teorie matematică a comunicației”¹. Problemele expuse în acest articol sînt legate strict de tehnica telecomunicațiilor dar formalismul elaborat este atît de general încît a putut fi utilizat și în multe domenii.

Nenumărate probleme din mecanica statistică, biologie, neurologie, psihologie, lingvistică, muzică, sociologie, economie au început a fi studiate cu ajutorul conceptelor teoriei informației; prin aceasta s-a găsit, dacă nu un mijloc de a face descoperiri, cel puțin un formalism capabil de a sistematiza și lămurii faptele cunoscute. Este poate prea devreme pentru a evalua rezultatele acestui nou mod de cercetare. Viitorul ne va arăta dacă este eficace sau nu.

Unul din domeniile în care conceptul științific de informație și-a găsit o largă aplicabilitate este acela al ciberneticii. Aceasta studiază tocmai prelucrarea și transmiterea informației la oameni și mașini în vederea elaborării unor comenzi; bazele acestei discipline au fost puse tot în anul 1948, odată cu apariția cărții lui Norbert Wiener: „Cibernetica sau știința comenzii și comunicării la ființe și mașini”². Dar, așa cum vom vedea mai departe, cibernetica nu numai că a beneficiat de formalismul teoriei informației dar, la rîndul ei, a contribuit la dezvoltarea conceptului de informație, față de accepțiunea sa, pur tehnică. Alți autori au dezvoltat ulterior conceptul de informație găsindu-i noi sensuri³.

2. Entropia : o noțiune veche și nouă în același timp

Ceea ce interesează atunci cînd vorbim de informație în tehnică este nu conținutul semantic al evenimentelor, ci faptul că ele sînt mai mult sau mai puțin cunoscute,

¹ C. E. SHANNON, *A Mathematical Theory of Communication* în „Bell System Technical Journal”, 27, 1948.

² NORBERT WIENER, *Cibernetica*, Ed. științifică, București, 1966.

³ VICTOR SĂHLEANU, *Știința și filozofia informației*, Ed. Politică, București, 1972.

conțin o anumită doză de incertitudine. Cu tot aspectul simplist al acestei încadrări a problemei, simplist din punctul de vedere al conceptului de informație umană, vom vedea în paragraful următor că el este suficient pentru a studia problema transmisiei informației în sistemele tehnice și că a permis obținerea unor rezultate cantitative deosebit de utile în caracterizarea și proiectarea sistemelor de telecomunicații.

Conceptul matematic cel mai adecvat pentru a formaliza incertitudinea este cel de probabilitate. Unui eveniment incert, făcînd parte dintr-o mulțime finită de evenimente incerte, i se poate atașa (în anumite condiții) un număr, cuprins între 0 și 1, numit probabilitatea sa. Pentru a lega noțiunea de probabilitate de cea de incertitudine Shannon a pus o serie de condiții, care l-au condus la elaborarea următoarei relații devenită celebră :

$$H(p) = -k \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i,$$

în care k este o constantă, p_i reprezintă probabilitatea evenimentului „ i ” din cadrul unei experiențe cu n rezultate posibile, iar $H(p)$ sau *entropia* experimentului, cum a numit-o Shannon, reprezintă incertitudinea medie conținută în experiența considerată.

Trebuie să menționăm că prin „experiență” se înțelege orice situație din viața curentă, a cărei desfășurare duce la evenimente imprevizibile dar a căror existență este cunoscută. Astfel un om, care așteaptă într-o stație un anumit autobuz, se află într-o asemenea situație. Rezultatul acestei „experiențe” este incert, întrucît nu se cunoaște dinainte numărul autobuzului care va sosi în stație. Problema se poate formaliza în modul următor. Dacă în stația respectivă pot sosi autobuze aparținînd la cinci linii diferite și dacă numărul de autobuze ale fiecărei linii este același, înseamnă că probabilitățile de sosire a diferitelor autobuze sînt egale : $p_1 = p_2 = p_3 = p_4 = p_5 = \frac{1}{5}$ în care p_1 este probabilitatea sosirii autobuzului de pe linia 1 ș.a.m.d. Avem o „experiență” cu cinci rezultate posibile, echiprobabile. Nedeterminarea

medie conținută în această experiență se poate calcula cu formula lui Shannon :

$$H(p) = - \sum_{i=1}^5 p_i \log_2 p_i = \log_2 5 = 2,3219 \text{ (biți)}^1.$$

La sosirea unui autobuz, omul nostru primește deci o informație de 2,3219 biți, care reprezintă tocmai valoarea incertitudinii care a fost îndepărtată.

Este evident că dacă diferitele linii ar fi avut un număr inegal de autobuze în circulație, atunci probabilitățile lor n-ar mai fi fost egale : autobuzele mai numeroase ar fi avut o probabilitate de sosire mai mare și prin aceasta ar fi rezolvat o incertitudine mai mică și, reciproc, cele cu probabilitate mică ar fi anulat o incertitudine mai mare. Incertitudinea medie a așteptării $H(p)$ ar fi avut altă valoare.

După cum s-a observat, în exemplul de mai sus, entropia măsoară incertitudinea medie conținută într-o experiență și, în același timp, informația medie conținută în această experiență, conform corelației informație-incertitudine, de care s-a vorbit.

Din punct de vedere cantitativ informația și incertitudinea sînt egale. Ele diferă numai în ceea ce privește poziția lor în cadrul experienței : incertitudinea se transformă în informație, în condițiile experienței. Pentru ca să existe informație trebuie să fi existat, înainte, incertitudine. Înaintea realizării experienței rezultatul era incert ; realizarea sa furnizează informație.

Denumirea de „entropie“, dată de Shannon acestei mărimi, provine din faptul că ea este identică cu expresia entropiei din mecanica statistică, relație stabilită de fizicianul austriac L. Boltzmann cu o jumătate de secol înainte de Shannon și, evident, fără nici o legătură cu teoria informației. Entropia lui Boltzmann are expresia :

$$S = K \sum_{i=1}^n p_i \log p_i,$$

¹ Bitul este unitatea de măsură a informației, reprezentînd incertitudinea conținută într-o experiență cu numai două rezultate posibile.

în care S este entropia sistemului fizic, p_i este probabilitatea ca sistemul să se găsească în starea i ; k este constanta lui Boltzmann.

Entropia lui Boltzmann măsoară gradul de dezordine a unui sistem fizic, adică diversitatea microstărilor care determină o anumită macrostare. Un sistem ale cărui stări microscopice sînt identice are o entropie nulă sau, altfel spus, dezordinea sa structurală este nulă. Un sistem are o dezordine internă cu atît mai mare cu cît microstările sale posibile sînt mai numeroase și probabilitățile lor mai apropiate. Cel de al doilea principiu al termodinamicii afirmă că evoluția unui sistem fizic închis se face totdeauna în sensul creșterii entropiei, deci al dezordinii ¹.

Identitatea dintre formula lui Shannon și cea a lui Boltzmann a atras atenția oamenilor de știință care au căutat să vadă dacă sub asemănarea formală se ascunde o legătură de fond între aceste două entități din domenii atît de diferite.

Unii au găsit o apropiere exagerată între cele două domenii mergînd pînă la a afirma că teoria informației este o parte din termodinamica statistică.

Fizicianul francez Léon Brillouin ², analizînd legătura dintre informație și entropia fizică, pune în evidență două tipuri de informație : liberă și legată. Pe aceasta din urmă o pune el în legătură cu entropia fizică.

Din cele de mai sus rezultă că, la un anumit nivel de abstractizare, varietatea stărilor unei structuri și incertitudinea informațională implică același formalism. Într-adevăr, incertitudinea se raportează la rezultatul unei experiențe care se poate realiza în diverse moduri. „Structura“ unei asemenea experiențe are deci un anumit grad de „dezordine“ dacă prin „ordine“ înțelegem unicitatea rezultatului, adică certitudinea. O asemenea experiență poate fi deci asimilată cu o structură fizică care conține o varietate de microstări avînd deci o entropie termodinamică diferită de zero.

¹ E. KATZ, *Creier uman și creier artificial*, Ed. științifică și enciclopedică, București, 1977.

² LÉON BRILLOUIN, *La science et la théorie de l'information*, Paris, 1959.

Evident, orice sistem fizic care are o entropie termodinamică diferită de zero nu este neapărat o sursă de informații; dar orice sursă de informații trebuie să aibă o structură, un suport fizic a cărui entropie termodinamică să fie diferită de zero.

Aceasta este o consecință a faptului că informația, entitate abstractă, nu poate să se manifeste și să se transmită decât pe un suport fizic și că varietatea mesajelor transmise implică o varietate, cel puțin egală de stări fizice, ale semnalelor purtătoare. Tocmai în aceasta constă, după părerea noastră, legătura profundă între cele două tipuri de entropii.

3. Transmisia informației în sistemele tehnice

Sistemele tehnice de comunicație realizează o legătură informațională între o sursă de mesaje și un destinatar, prin intermediul unei linii sau canal de comunicație (fig. 2.1).

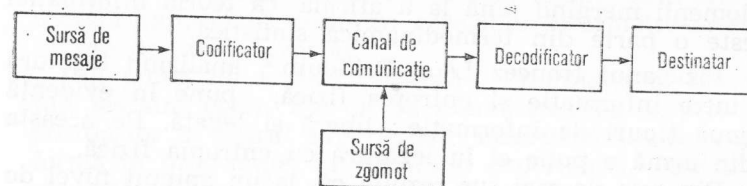


Fig. 2.1

Sursa și destinatarul sînt, în general, ființe omenеști iar codificatorul transformă aceste mesaje în semnale electrice ce se transmit pe linie. Aceste semnale sînt purtătoare de informații, în sensul uman al termenului, dar sistemul tehnic este complet indiferent în privința conținutului lor semantic. Sistemul tehnic transmite cu aceeași precizie (sau imprecizie) reclama unui produs cosmetic sau anunțul unui cataclism cosmic. Iată deci că abstracțiunea menționată, privind natura informațiilor particulare, se dovedește foarte adecvată în studiul transmisiei informației prin sistemele tehnice. S-au considerat deci diversele semnale care se transmit într-un sistem

tehnic ca „evenimente aleatorii” și s-a elaborat o teorie matematică a comunicației, bazată pe axiome riguroase.

Dar aceasta a cerut din partea oamenilor un efort creator care a durat aproape jumătate de secol, începînd cu încercările lui Nyquist (1924), Szilard (1926), Hartley (1928), Gabor (1946), cristalizîndu-se în opera fundamentală a lui Shannon (1948) și continuînd, și în zilele noastre, printr-un mare număr de studii publicate pe această temă.

Revenind la schema din fig. 2.1, se observă că, la ieșirea din sursă, informația este codificată și apoi transmisă pe linie. Într-adevăr, semnalele purtătoare de informație emise de sursă au o natură fizică care este, în general, diferită de aceea a semnalelor pe care canalul de comunicație le poate transmite. Să ne închipuim că sursa de informație este un vorbitor uman, ce emite semnale sonore, iar linia de comunicație este un cablu telefonic pe care se transmit curenți. Codificatorul (în exemplul dat, microfonul) are rolul de a transforma undele sonore în curenți electrice.

În general, deci, codificatorul este un sistem care realizează o corespondență între două succesiuni de semnale fizice, purtătoare de informație. Dar această corespondență nu este biunivocă deoarece numărul de semnale distincte pe care le emite sursa este, în general, diferit de cel al semnalelor ce pot fi transmise pe linie.

Necesitățile tehnice tind să reducă din ce în ce mai mult diversitatea semnalelor transmise pe linie. Astfel, de exemplu, cele 27 de litere ale alfabetului latin (incluzînd și pauza) pot fi codificate într-un cod telegrafic binar (codul Baudot în care, pe linie, se transmit numai două tipuri de semnale) sau într-un cod ternar (codul Morse, cu trei simboluri elementare). O literă a alfabetului va fi codificată printr-o anumită succesiune de simboluri ale codului, succesiune care este cu atît mai lungă cu cît diversitatea simbolurilor codului este mai redusă. Se înțelege, deci, că, cu cît un mesaj necesită mai multe simboluri elementare pentru a fi codificat, cu atît transmisia sa cere un timp mai îndelungat și devine mai costisitoare. Una dintre problemele fundamentale din tehnica comunicației este de a găsi coduri avantajoase, eficiente, care să utilizeze un număr redus de simboluri

elementare și, în același timp, un număr redus de simboluri pe mesaj.

Luând în considerare probabilitățile diferitelor mesaje și codificând nu litere izolate ci blocuri de mai multe litere, Shannon și Fano au reușit să găsească un sistem de codaj deosebit de eficient.

La terminalul receptor, decodicatorul realizează o nouă corespondență între semnalele de intrare și cele de ieșire, corespondență care este, în general, inversă celei a codicatorului, ceea ce permite receptorului să intre în posesia mesajului transmis.

În timpul transmisiei pe canal, semnalele sînt mai mult sau mai puțin alterate de zgomot. Prin „zgomote” se înțeleg semnale perturbatoare ce apar întîmplător, fără nici o legătură cu semnalul emis. Recepția corectă a semnalului util în prezența zgomotului este o altă problemă importantă din tehnica comunicațiilor.

În cazul canalului fără zgomot (care este mai degrabă un canal teoretic) eficiența codului este legată de viteza de transmisie.

În cazul unui canal perturbat, eficiența codului este legată atît de viteza cît și (mai ales) de fidelitatea transmisiei. Shannon și alții au analizat pe larg această problemă stabilind codaje eficiente și relații cu care să se poată evalua performanțele unui sistem de transmisiune a informației.

Pentru a micșora erorile de transmisie în cazul canalelor perturbate, codurile (ca și limbajele naturale) au o anumită „redundanță”. Elementele unui cod redundant nu sînt independente, ci au între ele anumite legături. Astfel, succesiunea literelor în alcătuirea cuvintelor sau a cuvintelor în alcătuirea frazelor ascultă de anumite legi, fonetice, gramaticale sau lexicale. Aceasta are drept efect că, dacă datorită unei perturbații, unul din aceste elemente nu este transmis în mod inteligibil, el poate fi reconstituit la recepție, pe baza legăturii sale cu elementele vecine.

Astfel, textul unei telegrame poate fi reconstituit chiar dacă unele litere au fost înlocuite cu altele, datorită erorilor de transmisie. Bineînțeles, pînă la un anumit procent de erori. Acest surplus de legături care există în

fiecare limbă pentru a mări siguranța în transmisie, se numește redundanță (de la cuvîntul latin „redundantio” care înseamnă abundență).

4. Transmisia informației în sistemele biologice

Studiul sistemelor de codificare și de transmisie a informației s-a dezvoltat mai întîi în domeniul tehnic. Dar, în scurtă vreme, oamenii și-au dat seama că organismele vii utilizează, pentru a comunica, un mecanism analog căruia i se pot aplica cu succes noile concepte.

Un nou limbaj, un nou mod de a gândi a invadat științele naturii și științele legate de om, dînd o viziune mai clară asupra proceselor care au loc, o înțelegere mai adîncă a acestora și posibilitatea de a le controla mai eficient.

Iată ce a spus, în această direcție, Jacques Monod, în lecția sa inaugurală, ținută în 1967 la „Collège de France” :

„Apariția în biosferă a unui sistem diferențiat de comunicații intercelulare, capabil de a transfera între celule depărtate, semnale relative la experiențele trăite de una dintre ele, este, desigur, un accident remarcabil. ...Aceasta a putut să se producă din momentul în care, suportul molecular al comunicației și coordonării exista deja, în sinul fiecărei celule. Faptul că acest sistem, în urma altor accidente, a devenit capabil, nu numai de a stabili o coordonare centrală, dar și de a înregistra, de a combina, de a restitui informația, iată un fenomen și mai extraordinar încă, dar nu un paradox, din moment ce se stabilise o rețea de comunicații rapide intercelulare...

...Numai ultimul dintre aceste accidente, totuși, putea să determine apariția în sinul biosferei, a unui nou regn, noosfera, împărăția ideilor și a cunoașterii, născut în ziua în care asocierile noi, combinațiile creatoare ale unui individ, au putut fi transmise altora și nu au mai pierit odată cu el”.

Chiar din acest pasaj se pot desprinde cele trei mari domenii în care teoria informației a pătruns în studiul fenomenelor biologice : acela al comunicației în interiorul organismului, acela al transmisiei informației pe cale

ereditară și acela al comunicației între indivizi. Să le analizăm pe rând.

a) *Codarea și transmisia informației în sistemul nervos.* Această problemă poate fi tratată la nivelul celulei nervoase, considerată ca element de codare și transmisie a informației, sau la nivelul rețelelor neuronale interconectate în creier sau, încă, la nivelul căilor de comunicație specifice care leagă organele de simț cu scoarța cerebrală și de aici cu organele efectoare.

Informațiile (de natură fizică foarte diferită) care ne parvin din mediul înconjurător sunt codificate de către organele senzoriale, transmise apoi prin fibrele nervoase la creier, unde sunt decodificate, prelucrate și înregistrate. În urma prelucrării se poate ca un mesaj să fie emis de creier în direcția organelor motoare.

În urma acțiunii excitanților fizici sau chimici veniți din mediul înconjurător, în receptorii senzoriali au loc fenomene energetice (biochimice, termice și electrice) care acționează asupra terminațiilor nervoase și provoacă descărcări ritmice de impulsuri electrice, ce constituie noul suport fizic al informației. Aceste semnale electrice conțin, sub formă codificată, informațiile relative la *calitatea* excitantului, la *intensitatea* sa, la *desfășurarea* sa în timp și la *distribuția* sa spațială.

Calitatea stimulilor pe care îi putem recepționa corespunde diferitelor structuri aneurale ale receptorilor de care dispunem (vizuali, auditivi, tactili etc.). Universul pe care îl percepem este deci filtrat de simțurile noastre.

Intensitatea I a stimulilor externi este legată de frecvența f a impulsurilor generate, printr-o relație logaritmică: $f = k \log I$, unde k este o constantă de proporționalitate. Are loc deci o „modulație de frecvență” a impulsurilor.

Desfășurarea temporală a stimulării este codificată cu ajutorul unor receptori separați care semnalează începutul și sfârșitul excitației; în fine, configurația spațială a excitanților are o reprezentare topologică pe cortex.

Impulsurile modulate în frecvență se propagă în lungul axonului, sunt întărite la așa-numitele „noduri ale lui Ranvier” și sosesc la sinapsa care determină trecerea spre neuronul următor. În sinapsă au loc operații de

decodare și codare, care asigură continuitatea fluxului informațional spre neuronul următor. Într-adevăr, impulsurile electrice eliberează o substanță chimică în cantitate proporțională cu frecvența impulsurilor; această substanță va determina, la rândul său, în nervul eferent, un tren de impulsuri a căror frecvență va fi proporțională cu cantitatea de substanță ș.a.m.d. (fig. 2.2).

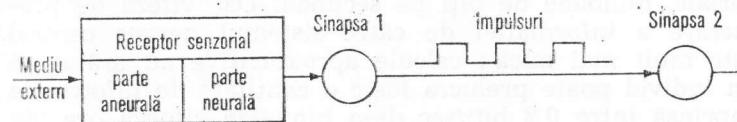


Fig. 2.2

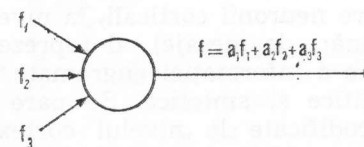


Fig. 2.3

În realitate, o sinapsă este atacată simultan de mai mulți nervi aferenți, ceea ce determină un fenomen de însumare ponderată a diferitelor frecvențe incidente (fig. 2.3). Coeficienții a_i pot fi și negativi, corespunzător fibrelor nervoase inhibitoare.

Suportul material al informației la trecerea prin sinapsă este format de moleculele de substanță transportate între membranele pre-sinaptică și post-sinaptică. Fluxul de molecule transportat în perioada de repaus constituie sursa unui „zgomot de fond”, N , peste care se suprapune fluxul util, S .

S-a putut evalua capacitatea informațională a sinapsei cu ajutorul conceptelor din cadrul sistemelor de telecomunicații:

$$C = k \log \left(1 + \frac{S_{max}}{N} \right) \text{ biți/sec,}$$

unde S_{max} reprezintă fluxul de saturație, adică numărul maxim de molecule ce se pot fixa pe suprafața membranei post-sinaptice.

Cantitatea de informație ce poate fi transportată de o singură fibră nervoasă a fost evaluată la aproximativ 300 biți/sec. Ținând seama că numai porțiunea „fovea centralis” din retină conține cam 30 000 de fibre nervoase, rezultă că creierul primește, de la organele senzoriale, milioane de biți pe secundă. Dar viteza de prelucrare a informației de către sistemul nervos central este mult mai mică; calcule aproximative au arătat că un individ poate prelucra logic o cantitate de informație cuprinsă între 0,2 biți/sec de-a lungul a câtorva ore (de exemplu un jucător de șah) până la 40 biți/sec pe durate scurte, ca în cazul lecturii rapide.

Odată ajunse la cortex informațiile senzoriale sînt prelucrate de către neuronii corticali, la nivelul senzației, percepției (combinări de mesaje), al reprezentării (repunerea în circulație a informației engramate*), a diverselor operații analitice și sintetice. Se pare că mesajele senzoriale sînt codificate la nivelul cortexului în enrame de neuroni excitați. Acest mecanism este departe de a fi elucidat și ar fi interesant de cunoscut procedeul care permite înregistrarea în structuri nervoase economice și ușor accesibile, a cantității uriașe de date care constituie universul spațio-temporal al omului.

Modul de prelucrare a informației de către creier a format obiectul a numeroase studii. Ele s-au situat fie la nivel comportamental considerînd creierul o „cutie neagră” și urmărind legătura dintre intrare (stimuli) și ieșire (răspunsuri), fie la nivel „neurologic”, adică intrînd în interiorul acestei cutii negre, pentru a-i desluși funcționarea. Iată un exemplu din prima categorie.

Studii psihologice au scos în evidență legătura dintre timpul de reacție al individului și incertitudinea medie cuprinsă într-o experiență de alegere, pe care acesta o efectuează. Timpul de reacție este intervalul care se scurge între darea unui semnal (de exemplu, aprinderea unui bec luminos) și efectuarea de către individ

* engramă: urma lăsată pe creier de un eveniment din trecut.

a unei operații oarecare (de exemplu, apăsarea unui buton). În cazul „reacției de alegere” individul trebuie să dea răspunsuri diferite la stimuli diferiți. Desigur, cu cît varietatea acestor stimuli este mai mare, cu atît timpul de reacție va crește, subiectul avînd de ales între o varietate mai mare de răspunsuri. Psihologul american R. Hyman¹ a stabilit o legătură între timpul de reacție T și entropia experimentului, H . Această legătură este evidențiată prin graficul din fig. 2.4 în

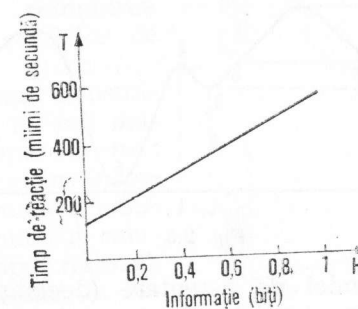


Fig. 2.4

care se observă că T crește liniar în funcție de H . Întrucît timpii de transmitere a semnalului stimulator spre creier și a comenzii spre organul efector sînt aceeași înseamnă că ceea ce se mărește este timpul de prelucrare a informației de către creier pentru elucidarea alegerii.

Studii neurologice au urmărit influența cantității de informație asupra activității electrice a cortexului.

Experiențe recente² au scos în evidență modificarea amplitudinii și a latenței (întîrzierii) potențialelor evocate vizuale, precum și a „unde de așteptare”, în funcție de informația prezentată subiectului. Acesta trebuia să apese pe un buton, corespunzător becului ce se aprindea și care făcea parte dintr-un ansamblu de 1, 2, 3,

¹ R. HYMAN, *Stimulus information as a determinant of reaction time* in „Journal of Experimental Psychology”, nr. 3/1953.

² M. BELIȘ et J. P. DINAND, *Modification des ondes cérébrales en fonction de l'information traitée*, Raport intern, CRSA-Lyon, 1970.

4 sau 5 becuri, corespunzând, deci, unor cantități de informație din ce în ce mai mari. Potențialul evocat (semnalul electric generat de creier ca urmare a stimulării) a fost cules cu ajutorul unor electrozi fixați pe scalp, în derivație frontală și parietală. Diagrama obținută prezintă următoarele puncte caracteristice (fig. 2.5) :

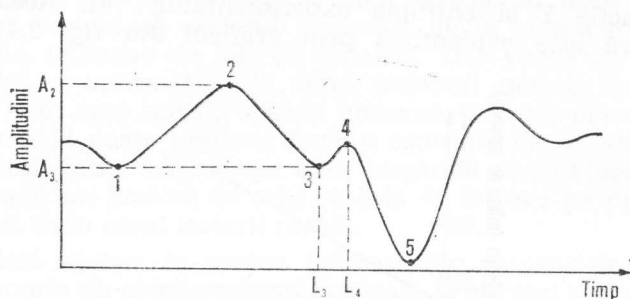


Fig. 2.5

1 = originea undei de așteptare (declanșarea semnalului avertizor de atenție); 2 = originea potențialului evocat vizual (declanșarea semnalului de comandă); 3 = vârful potențialului evocat; 4 = originea undei tardive (rezolvarea incertitudinii privitoare la butonul de apăsare); 5 = vârful undei tardive.

Parametrii luați în considerație sînt : $S_{1, 2, 3}$ = suprafața triunghiului 1, 2, 3, egală cu amplitudinea undei de așteptare ; $A_2 - A_3$ = amplitudinea potențialului evocat ; $L_3 - L_4$ = întârzierea în elaborarea răspunsului.

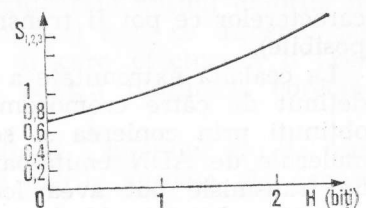
Variațiile acestor parametri în funcție de entropia H a experienței (cu 1—5 evenimente posibile) se pot urmări pe diagramele din figura 2.6 (a, b, c). Se observă o creștere a valorilor parametrilor cu complexitatea experienței de alegere.

Experiența a scos în evidență influența cantității de informație pe care o recepționează un om (varietatea stimulilor și a răspunsurilor aferente) asupra activității electrice a cortexului. Modificările care s-au observat în desfășurarea acestei activități se datoresc exclusiv variației cantității de informație primite de subiect, avînd în vedere că intensitatea luminoasă a stimulilor a fost menținută riguros constantă.

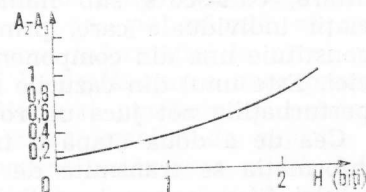
b) *Transmisia informației ereditare.* Un individ este un element într-un sistem de ordin superior care este specia. În cadrul acestui sistem, transmisia informației între indivizii succesivi asigură integritatea și stabilitatea în timp a sistemului, a cărui durată este mult mai mare decît a elementelor constitutive. Specia subzistă prin reînnoirea neîncetată a indivizilor care o compun, după cum individul subzistă prin reînnoirea neîncetată a celulelor ce îl compun.

În mecanismul transmisiei ereditare, se pot distinge două etape diferite : aceea a transmisiei informației de la nucleul celulei mamă la nucleul celulei fiice în timpul mitozei, și aceea a transmisiei informației de la nucleu la corpul celulei fiice, pentru structurarea individului. Fiecare din aceste etape implică elemente și coduri specifice¹.

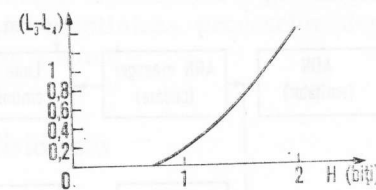
În prima etapă, referindu-ne la schema de principiu din figura 2.1, rolul emițătorului pare a fi deținut de către cromozomii din nucleul celulei mamă, și, mai exact, de moleculele de acid dezoxiribonucleic (ADN). Sursa emițătoare dispune de un alfabet cu 4 simboluri (sau litere), AGCT, corespunzînd celor patru baze, adenina, guanina, citozina și timina care fac parte din molecula de ADN. În acest alfabet cu patru litere se exprimă toate „mesajele” privind caracteristicile viitorului individ. Dacă se ține seama că un nucleu



a



b



c

Fig. 2.6

¹ J. MONOD, *Le hasard et la nécessité*, Editions du Seuil, Paris, 1970.

poate conține câteva zeci de cromozomi diferiți și că o moleculă de ADN dintr-un cromozom poate conține câteva zeci de mii de nucleotide, atunci cantitatea de informație ce poate fi înmagazinată de cromozomi apare a fi de ordinul a $\log_2 4^{100\,000} = 200\,000$ biți. Această capacitate informațională uriașă explică varietatea și finețea caracterelor ce pot fi transmise ereditar ($4^{100\,000}$ variante posibile).

La cealaltă extremitate a liniei, rolul receptorului este deținut de către cromozomii celulei fiice care au fost obținuți prin copierea și separarea spiralelor duble de molecule de ADN emițătoare. În timpul acestui proces de transmisie pot avea loc perturbații care alterează mesajele. Aceste schimbări bruște ale caracterelor ereditare, cunoscute sub numele de mutații, duc la variații individuale care, prin acțiunea selecției naturale, constituie una din componentele active ale evoluției speciei. Este unul din cazurile rare, dacă nu unicul, în care perturbațiile pot juca un rol favorabil.

Cea de a doua etapă a transmisiei ereditare, în care informația se transmite de la cromozomi la citoplasma celulei fiice, este schematizată în figura 2.7.

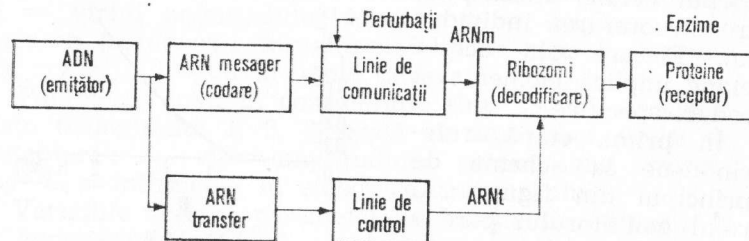


Fig. 2.7

Emițătorul este format tot din cromozomi, adică din molecule de ADN din nucleu, care dispun, după cum s-a menționat, de un alfabet cu patru litere (AGCT).

Receptorul este format din enzimele citoplasmei, ce utilizează un alfabet cu douăzeci de litere (corespunzător celor douăzeci de aminoacizi diferiți).

Transferul informației de la moleculele de ADN la proteină se efectuează cu ajutorul acidului ribonucleic mesager (ARN_m) care joacă rolul semnalului codificat, dis-

punind tot de cele patru simboluri elementare (AGCT). Moleculele de ARN_m (purtătoare de informație) se detașează de nucleul celulei și se atașează de ribozomi, aceștia fiind capabili de a asigura biosinteza enzimelor și apoi a tuturor proteinelor utile.

Acest transfer de informație este posibil datorită moleculelor de ARN_t (de transfer) care se transmit pe o linie paralelă, de control, și care efectuează o „recunoaștere” a aminoacizilor, pentru biosinteza corectă a enzimelor (decodare).

Descifrarea codului genetic și a modului său de transmitere constituie unul din marile succese ale geneticii moderne.

Progresele realizate în ultimul timp în biologia moleculară ne permit să sperăm ca, pe măsură ce vom cunoaște mai bine organizarea informației la nivel molecular, să putem interveni în desfășurarea unor procese cum ar fi controlul eredității și ameliorarea patrimoniului genetic, anihilarea mecanismelor de rejecție în cazul transplanturilor de organe; stăvilirea multiplicării celulelor canceroase; ameliorarea memoriei cu ajutorul cercetărilor de neuropsihologie moleculară; prelungirea duratei medii de viață prin încetinirea proceselor degenerative la nivel molecular ș.a.m.d.

5. Comunicația inter-individuală

a) *Comunicația senzorială.* Între individ și mediul înconjurător are loc un schimb permanent de informații necesar bunei sale funcționări.

Mijloacele de comunicație utilizate depind, în primul rând, de posibilitățile proprii ale individului de a emite și recepționa semnalele purtătoare de informație. Fiecare ființă comunică cu universul înconjurător într-un anumit cod care depinde de natura și performanțele organelor sale de simț și de manifestare exterioară.

Sistemele biologice cu caracteristici senzoriale (receptoare) și efectoare (emițătoare) similare, beneficiază de condiții de comunicație favorabile. Mamiferele comu-

nică cel mai bine cu mamiferele și destul de greu cu peștii sau cu viermii.

Comunicația între indivizii unei aceleiași specii este legată, în primul rînd, de necesitățile lor funcționale. Pe măsură ce, datorită evoluției, aceste necesități au devenit mai complexe, volumul informației transmise a crescut, mijloacele de comunicație s-au diversificat iar distanța între indivizii ce comunică a devenit mai mare.

Aruncînd o privire asupra evoluției comunicației între indivizii speciei umane, se constată două tendințe principale: aceea de perfecționare a codajului și aceea de mărirea a distanțelor de transmisie.

Prima tendință este consecința firească a creșterii volumului de informație de transmis. Oamenii primitivi comunicau între ei, în primul rînd, în vederea satisfacerii necesităților funcționale biologice: nutriție, reproducere, apărare, odihnă. Ca și în cazul tuturor animalelor, informația transmisă nu era codificată; semnificația sa era direct legată de suportul său fizic. Mirosurile îl informau pe om asupra apropierii vînatului. Formele, sunetele percepute erau manifestări directe ale universului fizic înconjurător.

Treptat, psihicul său s-a dezvoltat și relațiile cu semenii săi au devenit mai complexe. El a început să atașeze diverselor semnale fizice, alte sensuri decît cele legate strict de natura lor materială: un foc aprins pe o culme putea însemna nu numai un incendiu ci și avertizarea apropierii dușmanului: bubuitul tunetului putea însemna nu numai sosirea furtunii, ci și mînia unui zeu etc. Omul primitiv a început să-și perfecționeze mijloacele de comunicație, să caute codaje eficiente. Gesturile și sunetele sale au devenit din ce în ce mai precise și mai nuanțate, astfel încît să-i permită transmiterea unui volum cît mai mare de informație, cu o semantică cît mai diversificată.

Organele de simț utilizate cu precădere pentru recepție sînt văzul și auzul care sînt, în ordine, simțurile ce pot recepționa maximum de informație. Codurile elaborate utilizează deci, cu precădere, simboluri vizuale și sonore: gesturi, dansuri, desene, sunete instrumentale și, mai ales, limbajul vorbit și scris. S-a insistat mult asupra rolului jucat de limbaj în dezvoltarea psihicului și

a vieții sociale a omului. Într-adevăr, este primul codaj „eficient” pe care l-a găsit omul pentru a comunica cu semenii săi. Eficient, atît din punct de vedere a vitezei de transmisie cît și a redundanței importante de care dispune. Aceasta asigură o bună fidelitate a transmisiei, chiar în prezența perturbațiilor. După o evoluție de milioane de ani, limba zilelor noastre permite comunicarea orală a unei cantități de informație variînd între 0,2—1 biți/sec, în funcție de debitul vorbitorului. Dacă se adaugă la aceasta informația suplimentară provenită din intonație, accent, intensitatea vocii, această cantitate poate crește cu 30—50%.

Comunicația prin scris a făcut să crească și mai mult calitatea comunicațiilor inter-individuale. Scrisul permite o viteză de recepție mai mare (40 biți în lectura rapidă) facilități de înmagazinare, o redundanță suficientă pentru a evita erorile de transmisie. Pentru a crește și mai mult viteza de transmisie, se utilizează limbaje scrise cu redundanță redusă ca, de exemplu, stenografia.

Limba vorbită și scrisă permite omului să codifice pe un suport fizic, ușor comunicabil, o mare varietate de informații cu caracter logic și afectiv. Dar dezvoltarea capacității sale de prelucrare a informației și evoluția psihicului său au determinat căutarea unor coduri pe de o parte mai abstracte și pe de altă parte mai subtile decît limbajul curent. S-au creat astfel metalimbaje formale ca matematica sau limbajele de programare, utile în prelucrarea logică a informației. S-au găsit, de asemenea, noi mijloace de expresie artistică, din ce în ce mai nuanțate, menite să exprime variațiile infinitesimale ale stărilor afective.

b) *Comunicația extrasenzorială.* Prin aceasta se înțelege capacitatea unor oameni de a percepe, fără ajutorul simțurilor, mesaje sau stimuli care s-au produs la distanțe mari, uneori de mii de kilometri.

Posibilitatea de a recepționa astfel de semnale a fost observată încă mai de mult dar, datorită insuficienței dezvoltări a metodelor de cercetare științifică, ea a fost atribuită unei puteri supranaturale sau privită cu suspiciune.

Unul din pionierii cercetărilor metodice în această direcție a fost William Crookes (1882), cunoscut pentru realizările sale în domeniul descărcărilor electrice în

gaze și a tuburilor cu vid. El a făcut experiențe repetate și a publicat nenumărate rapoarte asupra posibilității pe care a observat-o la un individ de a putea deplasa obiecte fără a le atinge. Acestea însă nu au avut răsunet în rîndul contemporanilor săi.

Încă de la începutul secolului nostru, universitățile Stanford și Harvard din S.U.A. au inclus programe de cercetare în această direcție în cadrul departamentelor de psihologie. Pentru a pune în evidență existența percepției „paranormale” s-a folosit un pachet de cartonașe avînd fiecare un desen specific (arc, pătrat, stea etc.). Un individ privea un cartonaș iar un altul, într-o cameră separată, numea cartonașul extras. După cîteva mii de astfel de experiențe, efectuate în cele mai variate condiții, s-a pus în evidență existența unei comunicații telepatice cu rezultate statistice concludente: probabilitatea ca rezultatele obținute să fie datorate „întîmplării” este mai mică de 10^{-8} .

Cercetări similare se desfășoară de mai mult timp în laboratorul Institutului de cercetări asupra creierului din Leningrad. Cartea lui L. L. Vasiliev „Experimentări în sugestia mentală”¹ expune posibilitatea de a modifica, la distanță, comportamentul unui individ, prin transmisie telepatică.

La Moscova, în cadrul secției de bioinformație a societății „Popov”, I. M. Kogan s-a ocupat de problemele identificării obiectelor la distanță și a comunicației telepatice.

Cercetătorii sovietici și americani au căutat să pună în evidență modificări ale activității electrice a cortexului în timpul comunicației extrasenzoriale. Urmărind potențialul evocat și electroencefalograma individului pe durata recepției extrasenzoriale s-au pus în evidență modificări de aceeași natură cu cele care s-au înregistrat la individul care primea excitație directă, senzorială (impulsuri luminoase) și o trimitea la distanță.

Recent, problemele comunicației extrasenzoriale au format obiectul unor cercetări în cadrul laboratorului

¹ L. L. VASILIEV, *Experiments in Mental Suggestion*, Institute for the Study of Mental Images, Church Crookham, England, 1963.

de electronică și bioinginerie, din cadrul Institutului de cercetări Stanford (S.U.A.). Cercetările, relatate pe larg¹, au scos în evidență posibilitatea de transmitere la distanță a imaginilor văzute de individul emițător (peisaje, clădiri, laboratoare etc.). Datele obținute au arătat că fenomenul nu depinde de distanță și nu este alterat de izolarea individului receptor într-o cușcă metalică Faraday. Experiențele au fost făcute cu indivizi antrenați în această direcție precum și cu voluntari fără nici o experiență. Distanța de transmisie a fost variată între cîteva zeci de metri și cîteva mii de kilometri. Individul emițător, la o anumită oră, fixată dinainte, se concentra asupra unei imagini oarecare, pe care o și fotografia; la celălalt capăt al „canalului de comunicație” individul receptor schița pe hîrtie, imaginile care îi apăreau în minte. S-a preferat acest mod de reprezentare grafică, întrucît s-a constatat că analiza verbală a imaginilor percepute duce la o deformare a acestora.

Concordanța dintre fotografie și desen este cu totul remarcabilă. În general s-a constatat că încercarea de a reconstitui imaginea percepută, făcînd apel la memorie și imaginație duce la micșorarea calității transmisiei.

În februarie 1971, în timp ce își efectua zborul spre lună la bordul lui „Apollo 14”, astronautul american Edgar Mitchell a transmis, pe cale telepatică, o serie de mesaje celor de pe pămînt. Din cele 200 de figuri convenționale „tip Zener” pe care le-a transmis, 51 au coincis. Din calcul a rezultat că probabilitatea ca această coincidență să fie datorită întîmplării este mai mică decît 0,0003².

Investigațiile moderne urmăresc să stabilească frecvența pe care se face transmisia, natura undelor purtătoare de informație, caracteristicile canalului de comunicație precum și metodele de îmbunătățire a transmisiei.

Aceste probleme formează obiectul de cercetare al unui colectiv din cadrul catedrei de Radiocomunicații a Institutului Politehnic București. Sub conducerea prof. Gh.

¹ H. E. PUTHOFF, R. TARG, *A Perceptual Channel for Information Transfer over Kilometer Distances* in „Proc. of the IEEE”, nr. 3/1976.

² E. MITCHELL, *Psychic Exploration*, Putmans, 1974.

Cartianu¹, în cadrul acestui colectiv s-au analizat, pe baza datelor existente, diferitele modalități posibile ale transmisiei extrasenzoriale, analiza efectuându-se din punctul de vedere al teoriei și tehnicii transmisiei informației. S-a analizat astfel ipoteza transmisiei prin unde electromagnetice de foarte joasă frecvență (8—30 Hz), canalul de transmisie fiind constituit de cavitățile rezonante pământ-ionosferă. S-au elaborat modele pentru explicarea emisiei și recepției telepatice, pentru extragerea semnalului util din zgomot. S-a luat în considerare posibilitatea sincronizării structurilor oscilatoare corticale cu oscilatori externi de frecvență apropiată. Pe lângă această sincronizare, transmisia telepatică ar mai fi condiționată și de existența unor cuvinte de cod — prin care se transmite informația — cu caracteristici spațio-temporale asemănătoare la indivizii emițător-receptor.

Cu toate greutatea pe care le întâmpină cercetarea în această direcție, este de dorit ca omul să poată face în viitor lumină în această controversată problemă, separând ceea ce este adevărat de confabulație.

6. Aspecte ale comunicației semantice

De la formele primitive ale comunicației inter-indivuale și până la formele evolute ale zilelor noastre, se observă că informația este nedespărțită de aspectul ei semantic. Oamenii, ca și animalele, comunică informații *cu sens*, destinate îndeplinirii unui anumit scop, determinând deci o serie de decizii și acțiuni din partea celui ce le recepționează.

Conținutul semantic al informației transmise de ființele vii este un aspect specific biologic care face ca noțiunea de informație, așa cum a fost ea definită în tehnică, să nu mai fie satisfăcătoare.

S-a văzut că, în teoria clasică, informația este o entitate abstractă, atașată unor evenimente a căror realizare este nesigură. Din punctul de vedere al acestei teorii

¹ GH. CARTIANU, V. VLAD, *Asupra posibilității de transmisie perceptuală la distanță a informației*, Sesiunea de comunicări a Acad. R.S.R., oct. 1976.

creată special pentru sistemele tehnice nu are nici o importanță ce anume reprezintă aceste evenimente.

Dar pe măsură ce părăsim domeniul tehnic pentru a intra în domeniul biologic, informația își pierde caracterul abstract, pur cantitativ, pentru a îngloba caracteristici *calitative*.

Astfel, din punctul de vedere al teoriei clasice, o experiență cu două rezultate egal posibile conține o cantitate de informație egală cu un bit :

$$H = - \sum_{i=1}^2 p_i \log_2 p_i = -0,5 \log_2 \frac{1}{2} - 0,5 \log_2 \frac{1}{2} = 1 \text{ bit.}$$

Dar o asemenea experiență poate fi, de exemplu, aruncarea cu banul (rezultatele posibile fiind două : banul sau stema) sau rezolvarea unei cereri de grație a unui condamnat la moarte (rezultatele posibile fiind tot două : admis sau respins). Este evident că măsura pur cantitativă a informației, care duce la aceeași valoare pentru cele două experiențe menționate, nu mai este satisfăcătoare. Este nevoie de a ține seama de semantica evenimentelor pentru a găsi o măsură realistă a informației în acest caz.

Pentru a găsi un formalism capabil de a îngloba și aspectul calitativ, semantic, al mesajelor, au fost făcute numeroase încercări.

Iată, de exemplu, cum s-ar putea pune problema aspectului semantic, în cadrul sistemelor cibernetice (tehnice sau biologice)¹.

Un sistem cibernetic este, prin definiție, un sistem finalizat care prelucrează informația în vederea îndeplinirii unui scop. Criteriul fundamental, după care se deosebesc între ele mesajele, este deci acela al eficienței, al *utilității* în raport cu scopul. Evident, aprecierea utilităților se face de către sistemul cibernetic însuși, astfel încât acestea au un caracter subiectiv, spre deosebire de probabilități care au un caracter obiectiv. Mecanismul,

¹ M. BELIȘ și S. GUIAȘU, *A Quantitative-Qualitative Measure of Information in Cybernetic Systems* în „IEEE Trans. on Information Theory”, vol. I, T-14 nr. 4, iulie 1968.

după care fiecare sistem stabilește valorile numerice ale utilităților diferitelor evenimente în raport cu scopul, nu este încă elucidat dar aceasta nu împiedică elaborarea unui formalism în această direcție. O teorie se construiește cu simboluri și nu cu cifre: teoria jocurilor și teoria deciziei sînt exemple în acest sens.

Luîndu-se în considerare aceste două mărimi atașate evenimentelor: probabilitatea p și utilitatea u și punîndu-se anumite condiții, s-a putut stabili o măsură cantitativă și calitativă a informației medii conținută într-un experiment orientat către un scop avînd n rezultate posibile:

$$I = -k \sum_{i=1}^n u_i p_i \log p_i.$$

Se observă că această expresie devine egală cu aceea a entropiei H (măsură pur cantitativă) dacă, în lipsa scopului, evenimentele nu mai sînt discernabile după utilități, adică:

$$u_1 = u_2 = \dots u_n = 1 \text{ sau } u_i = \frac{1}{k}.$$

Să vedem cum se evaluează, cu ajutorul acestei noi expresii, informația conținută în două tipuri de experiențe ce diferă numai prin conținutul semantic.

Experiența nr. 1: aruncarea cu banul. Cele două fețe ale banului au șanse egale: $p_1 = p_2 = \frac{1}{2}$. Rezultă:

$$H = -\frac{1}{2} \log \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \log \frac{1}{2} = 1 \text{ bit}.$$

Experiența nr. 2: loterie cu ciștiguri. Celor două fețe ale banului le sînt atașate ciștiguri: pentru una din fețe ciștigul e nul ($u_1 = 0$), pentru cealaltă corespunde un ciștig (evaluat subiectiv de jucător la $u_2 = 2000$).

$$I = -0 \cdot \frac{1}{2} \log \frac{1}{2} - 2000 \cdot \frac{1}{2} \log \frac{1}{2} = 1000 \text{ biți}.$$

În teoria comunicației bidirecționale¹ este analizat aspectul uman al transmisiei informației, între două surse (umane) care pot în aceeași măsură să emită și să recepționeze mesaje (fig. 2.8).

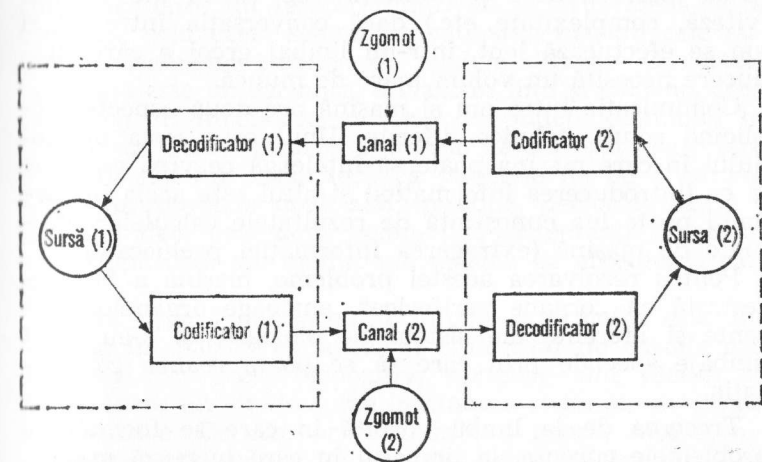


Fig. 2.8

S-au stabilit modele ale comunicației semantice² (umane) luîndu-se în considerare limbajul sursei, funcția semantică a diferitelor structuri (propoziții) emise, funcția de preferință etc.

7. Comunicația omului cu mașina

Informațiile pe care mașina le prelucrează sînt destinate unei ființe umane. Desigur, mașina poate comunica și cu alte mașini pentru a rezolva — în colectiv — o problemă complexă, comunicația la acest nivel avînd loc între sisteme pur tehnice. Dar, în ultimă instanță, re-

¹ H. MARKO: *The Bidirectional Communication Theory*, în „IEEE Trans. on Communication”, nr. 12/1973.

² M. BELIȘ, *A Theory Semantic of Communication*, comunicare la Congresul Internațional de Cibernetică și Sisteme, București, 1975.

zultatele calculelor vor trebui să fie comunicate omului. Problema comunicației om-mașină este una din problemele cheie, care condiționează eficiența acestor auxiliari tehnici și însăși limitele acestei colaborări. Căci este inutil să se perfecționeze posibilitățile de calcul ale mașinii (viteză, complexitate etc.) dacă conversația între ea și om se efectuează lent, într-un limbaj greoi a cărei traducere necesită un volum mare de muncă.

Comunicația între om și mașină are două aspecte, implicând soluții tehnice diferite. Unul este acela al modului în care mașina poate să înțeleagă ce vrea omul de la ea (introducerea informației) și altul este acela în care omul poate lua cunoștința de rezultatele calculelor efectuate de mașină (extragerea informației prelucrate).

Pentru rezolvarea acestei probleme, mașina a fost înzestrată cu „organe periferice”, analoage organelor aferente și eferente ale sistemelor biologice și s-au creat limbaje speciale prin care să se poată realiza comunicația.

Trecerea de la limba vorbită în care se formulează problemele curente, la limbajul în care lucrează mașina, nu este o problemă ușoară. Aceasta, deoarece între aceste două limbaje există mari deosebiri, atât în ceea ce privește structura cât și simbolurile folosite. La baza limbajului uman stau cele 26 de litere ale alfabetului, cele 10 cifre ale sistemului de numerație zecimal, precum și o serie întreagă de semne de punctuație și simboluri de calcul. Mașina dispune de o varietate mult mai redusă de simboluri cu care poate lucra. Cu mijloacele tehnice de care dispunem soluția cea mai bună a fost să o înzestram doar cu două simboluri, adică cu un limbaj binar. Cu acestea ea poate face orice operație logico-matematică pe care o face omul, ceea ce în fond reprezintă tocmai problema care ne interesează.

Există o întreagă succesiune de operații care fac trecerea de la limbajul omului la cel al mașinii, folosind pentru aceasta diverse tipuri de limbaje: „limbajul de nivel înalt” care se apropie de limba vorbită, „limbajul de nivel intermediar” sau simbolic care face trecerea spre „limbajul de nivel coborât” care este limbajul binar al mașinii. Trecerea de la un limbaj la altul este automatizată efectuându-se de către așa-numitele „compilatoare”

de la nivelul înalt la cel mediu, și pe baza unor „programe de interpretare” de la nivelul mediu la cel coborât.

Unul din dispozitivele de intrare des utilizate este cititorul de cartele sau de benzi perforate. Cartelele perforate au apărut încă de la începutul secolului trecut când Jacquard, un țesător din Lyon, a avut ideea de a comanda prin acest sistem funcționarea mașinii sale automate, realizând țesături cu modele diferite. O cartelă perforată este un cartonaș, divizat în linii și coloane, ceea ce dă, prin întreținere, o serie de puncte distincte. În fiecare din aceste puncte, o mașină de perforat poate face o gaură sau nu. Iată, deci, că punctele de pe o cartelă se pot prezenta în două stări posibile, perforate sau nu. Regăsim deci cele două semne ale sistemului binar, în care, după cum am menționat, mașina își efectuează calculele.

Odată ajunsă sub această formă, informația este introdusă în mașină cu ajutorul cititorului de cartele sau de benzi. În acest dispozitiv, cartelele sînt făcute să treacă între un șir de surse luminoase și un șir de celule fotoelectrice. De cîte ori întilnește o gaură, raza luminoasă cade pe celula fotoelectrică, care dă la ieșire un impuls electric. Succesiunea de găuri devine, astfel, o succesiune de impulsuri electrice ce se transmit mașinii.

Un alt sistem care poate fi utilizat atât la introducerea cit și la extragerea datelor este banda magnetică. Ea este asemănătoare cu cea utilizată la un magnetofon. Pe ea se înregistrează succesiunea de impulsuri care constituie informația în cod binar și pe care o mașină o poate „citi” cu ușurință și mai ales cu viteză mult mai mare: se poate ajunge la cîteva zeci de mii de caractere pe secundă față de cele cîteva zeci sau sute de caractere din cazul benzii perforate sau mii de caractere din cazul cartelelor.

Dispozitivele de ieșire ale mașinii sînt de două feluri, după cum rezultatele calculelor sale sînt preluate de către om sau de către o altă mașină.

Din prima categorie fac parte imprimanta și terminalul cu tub catodic; în a doua categorie intră perforatorul de bandă și unitatea de bandă magnetică.

Imprimanta este un sistem de tipărire care, acționat de semnalele electrice de la ieșirea calculatorului, pre-

zintă sub o formă citibilă rezultatele calculului. Tot sub o formă citibilă de către om se pot prezenta rezultatele pe ecranul unui tub catodic. Terminalul cu tub catodic poate afișa atât caractere alfanumerice, cât și grafice, scheme, diagrame. El este adecvat urmării unor rezultate rapid variabile în timp, fiind de un mare folos în munca de proiectare și verificare a calculelor.

„Terminalele interactive“, permit conversația rapidă cu mașina, în ambele sensuri. Operatorul bate la mașina de scris textul pe care dorește să-l comunice și care se introduce în mașină simultan cu afișarea pe ecran, pentru a putea fi citit și controlat. Rezultatele calculelor efectuate de mașină sînt afișate pe același ecran, sub o formă direct citibilă. Transferul informației se face în ritmul a un milion de semne pe secundă.

Mai mult decît atât, operatorul poate interveni direct în desfășurarea operațiilor, furnizînd informații pe parcurs. Mașina, de exemplu, poate da un răspuns de tipul: pentru condiții inițiale egale cu... integrala are valoarea... Operatorul introduce în spațiul liber valoarea condițiilor inițiale ale procesului și mașina furnizează, practic instantaneu, valoarea integralei.

Încercările cele mai îndrăznețe tind ca mașina să „recunoască“ vorbele sau scrisul oamenilor care îi vor putea vorbi direct sau îi vor prezenta texte scrise de mîna. Aceasta este o problemă de „recunoaștere a formelor“ care va fi discutată în capitolul VIII.

Iată, deci, că pe măsura automatizării proceselor de introducere și extragere a datelor, comunicația cu mașina începe să se apropie de flexibilitatea și fluența comunicației umane.

CAPITOLUL III

Mecanismul gîndirii logice

*„...tot ceea ce poate fi descris
riguros în termeni logici, poate să
fie efectuat și de către automate.“*

JOHN VON NEUMANN

1. De la logica oamenilor la logica mașinilor

În efortul său multimilenar pentru a cunoaște și domina mediul înconjurător omul a căutat, pe de o parte, să mărească cantitatea de informație primită de la mediu, — deci mijloacele de comunicație cu acesta — și, pe de altă parte, să utilizeze cît mai eficient aceste informații — deci o prelucrare cît mai adecvată.

Nimeni însă nu i-a indicat omului regulile după care trebuiau combinate datele disperate, incomplete și uneori deformate pe care le culegea, astfel încît să le poată folosi în mod eficient. Dar, în decursul timpului, generațiile succesive, prin încercări soldate cu eșecuri sau succese, au reușit să selecționeze un ansamblu de reguli ce permit cunoașterea realității înconjurătoare. Aceste reguli, care formează baza funcționării noastre logice, sînt adecvate universului nostru spațio-temporal. Validitatea lor poate fi discutată în alte sisteme de referință, dar valoarea lor este incontestabilă în cel al nostru. Ele și-au dovedit eficacitatea în lupta omului cu mediul, pe care a reușit să-l stăpînească, pătrunzînd în desfășurarea fenomenelor, putînd să le utilizeze în folosul său, să le prevadă și uneori chiar să le reproducă după voie.

Căci, dacă regulile logicii ar fi doar un sistem creat în mod arbitrar, așa cum au susținut unii filozofi, atunci

gîndirea noastră ar fi în permanent conflict cu realitatea materială care ne înconjură. Ruptă de această realitate, gîndirea noastră nu ar putea nici să o înțeleagă și cu atît mai puțin să o domine.

O lungă evoluție a structurat un sistem nervos capabil să prelucrez informațiile, sistem care s-a perfecționat prin însuși avantajul pe care l-a conferit speciei respective.

Specia umană a reușit să dezvolte într-o măsură atît de mare mecanismul prelucrării logice a informației, în ceea ce privește complexitatea operațiilor și viteza de lucru, încît și-a creat disponibilități de prelucrare, odată ce au fost asigurate condițiile de existență. Aceste disponibilități au fost îndreptate spre cercetarea mecanismului însuși al gîndirii: omul nu s-a mulțumit să gîndească, ci a început să se întrebe *cum* gîndește.

2. Ce spun logicienii

Logica formală reprezintă încercarea omului de a desprinde din multitudinea operațiilor mintale pe care le efectuează în activitatea sa zilnică, algoritmi generali. Dificultatea problemei constă în faptul că universul mintal al omului — ca și universul fizic în contact cu care s-a format — nu este guvernat de legi strict deterministe ci cuprinde o bună parte de fenomene aleatoare, formalizabile prin legi statistice. Funcționarea logică — deterministă — este numai un aspect al activității mintale. Dar aprofundarea funcționării logice deterministe a fost de o mare însemnătate teoretică și practică, ducînd, așa cum vom vedea mai departe, la crearea „mașinilor inteligente“.

Primele încercări de a elabora o logică formală au fost făcute de către filozofii greci, cu cîteva secole înaintea erei noastre. Logica lui Aristotel este caracterizată prin analiza sintactică a propozițiilor. Aceasta constă în a împărți propoziția în subiect și atribut și a construi „modele“ ca, spre exemplu, binecunoscutul „model“ din logica implicațiilor — silogistica :

Toți oamenii sînt muritori
Socrate este un om
Deci : Socrate este muritor.

Logica modernă se bazează pe „calculul propozițional“ care încearcă să formalizeze structura gîndirii plecînd de la un alt punct de vedere.

Elementele „calculului propozițional“ sînt propoziții simple despre care interesează numai dacă sînt *adevărate* sau *false*, indiferent de forma lingvistică a propoziției. De exemplu, propozițiile :

Ion l-a salvat pe Petre,
Petre a fost salvat de Ion,

au același sens, deci aceeași valoare logică.

Calculul propozițional reprezintă totalitatea regulilor care permit combinarea și transformarea propozițiilor. O metodă curentă de combinare a propozițiilor constă în a utiliza conjuncțiile „ȘI“ și „SAU“. Mai există, evident, și multe alte moduri de combinare, dar acestea sînt adecvate a fi folosite în legătură cu conceptele „adevărat“ și „fals“.

Experiența de fiecare zi ne arată că, dacă două evenimente sînt adevărate, reuniunea lor va conduce tot la un eveniment adevărat. În limbajul curent, aceasta conduce la propoziții de tipul :

— Pentru a reuși la un examen trebuie trecută proba scrisă ȘI proba orală.

— Dacă găsesc un taxi ȘI dacă nu are pană ȘI dacă merge repede voi sosi la timp.

Se observă din aceste două exemple, că pentru ca propoziția dependentă (să reușesc la examen, să ajung la timp) să fie adevărată, trebuie ca toate propozițiile independente (care o condiționează) să fie adevărate. Dacă una din ele e falsă, concluzia e falsă.

O astfel de structură logică este valabilă indiferent de conținutul semantic al propozițiilor. Se poate deci elabora o schemă *formală* a acestui mod de a gîndi, care se referă la *forma* gîndirii și nu la *conținutul* ei, și care este dată în tab. 3.1 pentru toate combinațiile de valori posibile a două propoziții independente.

Tabel 3.1

Propoziția independentă	Propoziția independentă	Funcția logică „ȘI” (propoziție dependentă)
falsă falsă adevărată adevărată	falsă adevărată falsă adevărată	falsă falsă falsă adevărată

Tabel 3.2

Propoziția independentă	Propoziția independentă	Funcția logică „SAU” (propoziție dependentă)
falsă falsă adevărată adevărată	falsă adevărată falsă adevărată	falsă adevărată adevărată adevărată

Tabel 3.3

Propoziția independentă	NON (propoziție dependentă)
falsă adevărată	adevărată falsă

Tabel 3.4

Propoziția independentă	Propoziția independentă	Funcția logică „SAU exclusiv”
falsă falsă adevărată adevărată	falsă adevărată falsă adevărată	falsă adevărată adevărată falsă

Să considerăm acum propoziții de tipul :

„Pentru a avea un autoturism trebuie să fac economii, SAU să câștig la loterie”. În astfel de propoziții, rezultanta este adevărată dacă oricare din componente este adevărată, sau chiar toate împreună.

Schema formală a funcției logice „SAU” este dată în tab. 3.2 ; se mai numește „SAU inclusiv” deoarece include și cazul în care ambele propoziții independente fiind adevărate, rezultanta este tot adevărată.

În sfârșit, o a treia funcție logică este negația „NON”.

Evident, a nega o propoziție, înseamnă a afirma contrariul.

Schema funcției „NON” este dată în tab. 3.3.

Funcțiile logice „ȘI”, „SAU”, „NON” sînt funcții fundamentale deoarece cu ajutorul lor se poate forma orice altă structură logică, oricît de complicată. Astfel, de exemplu, funcția logică „SAU exclusiv” sau „dilema” are schema din tab. 3.4.

Dînd un conținut semantic acestei structuri logice, putem spune : „Pentru a traversa Oceanul Atlantic trebuie să luăm avionul SAU vaporul”.

În calculul propozițional se arată că funcția „SAU exclusiv” poate fi exprimată printr-o combinație de funcții elementare (ȘI, SAU, NON).

3. Ce spun matematicienii

Desigur aportul logicii formale în elucidarea proceselor gîndirii este foarte mare. Dar limbajul folosit de acest formalism este totuși prolix și deseori imprecis. Un formalism mai riguros a fost obținut prin utilizarea limbajului matematic.

La mijlocul secolului trecut, matematicianul și logicianul englez G. Boole¹ a elaborat, plecînd de la logica bivalentă, o nouă disciplină numită algebra logică, binară sau booleană, în care variabila are doar două valori, 0 și 1, corespunzătoare celor două valori logice ale propozițiilor din logica bivalentă.

¹ GEORGE BOOLE, *An Investigation of the Laws of Thought*, Londra, 1854.

Regulile logicii bivalente se regăsesc în algebra lui Boole exprimate sub o formă concisă și precisă. În acest nou formalism, regulile gândirii omenești îmbracă forma elegantă a limbajului matematic.

Menționăm că formalismul matematic s-a aplicat și altor sisteme logice (trivalente, polivalente etc.) dar sistemul bivalent este de departe cel mai răspândit, atât datorită simplității sale cât și datorită aplicațiilor tehnice pe care le-a suscit.

Algebra lui Boole este definită prin trei operații: intersecția, reuniunea și complementul (sau negația), corespunzătoare celor trei funcțiuni logice elementare ȘI, SAU, NON.

În cele ce urmează variabilele algebrei booleene vor fi notate cu literele alfabetului latin, $a, b, c, \dots$; aceste variabile corespund propozițiilor independente ale logicii bivalente. Prin convenție, valoarea 1 a variabilei corespunde valorii logice „adevărat” iar valoarea 0 corespunde valorii logice „fals”.

Operația de intersecție corespunde funcției logice „ȘI” definită în tab. 3.1. „Tabela de adevăr” a acestei operații algebrice corespunde tab. 3.5.

Tabela 3.5

a	b	$a \cdot b$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Denumirea de „intersecție” dată acestei operații provine din faptul că, în teoria mulțimilor, care furnizează un formalism intuitiv pentru algebra logică, domeniul de „adevăr” al unei funcții se reprezintă prin mulțimea punctelor interioare unui contur. Dacă propoziția „ a ” are valoarea 1 în toate punctele interioare conturului A iar propoziția „ b ” are valoarea 1 în interiorul conturului B ; atunci funcția $a \cdot b$ are valoarea 1 în punctele corespunzătoare intersecției celor două contururi (fig. 3.1).

Operația de reuniune corespunde funcției logice „SAU” definită în tabela 3.2. „Tabela de adevăr” a acestei operații algebrice este dată în tab. 3.6.

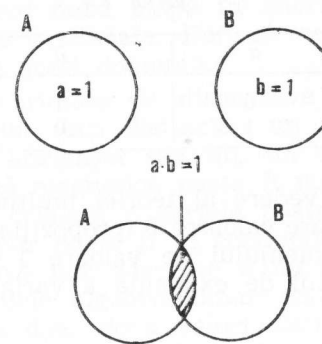


Fig. 3.1

Tabela 3.6

a	b	$a + b$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

În limbajul teoriei mulțimilor, această operație revine la „reuniunea” suprafețelor celor două contururi în interiorul cărora variabilele a și b au valoarea 1 (fig. 3.2)

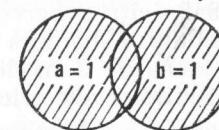


Fig. 3.2

Operația de complementare sau de negație corespunde funcției logice „NON” (tab. 3.3). Această operație se efectuează asupra unei singure variabile binare, spre

deosebire de cele două operații precedente care se aplică la două sau mai multe variabile binare. „Tabela de adevăr“ este dată în tab. 3.7.

Tabelul 3.7

a	$\bar{a}$
0	1
1	0

Din punct de vedere al teoriei mulțimilor, domeniul în care variabila are valoarea 0 (propoziția este falsă) este complementul domeniului de valoare 1 (de adevăr) în raport cu domeniul de existență a variabilei, închis de curba C (fig. 3.3).

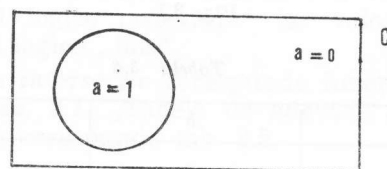


Fig. 3.3

Cu ajutorul acestor trei operațiuni fundamentale, se pot construi toate operațiile algebrei booleene.

4. Electroniștii modelează gândirea

În jurul anului 1940, câțiva cercetători inventivi, în diferite puncte ale globului (Shannon în S.U.A., Șestakov în U.R.S.S.) au avut ideea de a modela regulile algebrei binare cu ajutorul circuitelor electrice.

Astfel s-a născut „algebra schemelor cu contacte“ care a cunoscut o deosebită dezvoltare și la noi în țară sub conducerea academicianului Gr. C. Moisil. Mecanismul prelucrării logice a informației, descompus în elementele sale fundamentale, a început să fie reprodus pe circuite electrice. Metode tehnologice din ce în ce mai perfec-

ționate au permis combinarea acestor elemente în structuri logice din ce în ce mai complexe, ducând la elaborarea calculatoarelor rapide, de mare capacitate, ale zilelor noastre.

Astfel a început o nouă etapă în istoria civilizației, aceea a inteligenței artificiale. Dar să vedem cum au evoluat lucrurile în acest domeniu.

Există o mare varietate de dispozitive tehnice care prezintă numai două stări distincte: un releu electromagnetic poate fi anclanșat sau nu, un contact închis sau deschis, o piesă magnetică poate fi magnetizată într-un sens sau în celălalt, o cartelă poate fi perforată sau nu, un tranzistor poate fi în conducție sau nu etc. Astfel de dispozitive par adecvate a modela (a reprezenta fizic) variabilele algebrei binare care, după cum s-a arătat, pot lua doar două valori distincte: 0 și 1. De exemplu, în cazul unui contact, starea „închis“ este pusă în corespondență cu valoarea 1 iar starea „deschis“ cu valoarea 0. Mai rămâne de găsit structura circuitului electric care, incluzând unul sau mai multe asemenea contacte, va putea reproduce funcțiile algebrei booleene, respectiv ale logicii binare.

Funcția „ȘI“ respectiv conjuncția logică este modelată prin două sau mai multe contacte în serie. Contactele reprezintă variabilele (respectiv propozițiile) independente iar funcția rezultantă (respectiv propoziția dependentă) este reprezentată de prezența sau absența curentului în rezistența R (fig. 3.4).

Curentul trece prin rezistența R (deci funcția are valoarea 1 sau propoziția dependentă este adevărată) dacă ambele contacte sînt închise (deci ambele variabile au valoarea 1 sau ambele propoziții independente sînt adevărate). Este suficient ca unul din contacte să fie deschis pentru ca să se întrerupă curentul. Se observă imediat că funcționarea acestui circuit corespunde tablei de adevăr a funcției ȘI. Schema din figura 3.4 constituie modelul fizic al conjuncției logice.

Două contacte în paralel permit trecerea curentului prin rezistența R dacă cel puțin unul din ele este închis (sau amîndouă) (fig. 3.5).

Acest circuit constituie modelul fizic al funcției logice „SAU inclusiv“, sau al relației corespunzătoare din algebra binară.

În sfârșit, în schema din fig. 3.6 este modelată funcția logică „NON“. Când contactul este închis (variabila independentă are valoarea 1) curentul nu circulă prin rezistența R (funcția are valoarea 0) și reciproc.

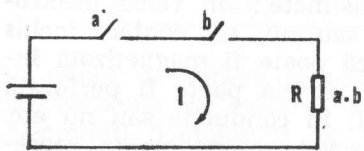


Fig. 3.4

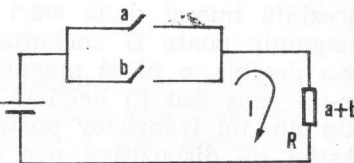


Fig. 3.5

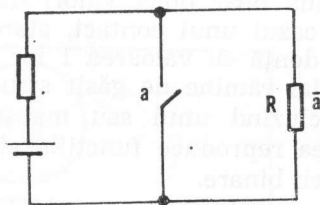


Fig. 3.6

Aceste câteva exemple scot în evidență posibilitatea modelării prin procedee tehnice, a funcțiilor elementare ale algebrei logice. Prin combinații ale acestor circuite elementare, se pot modela toate funcțiile algebrei logice, de vreme ce acestea pot fi exprimate prin funcții elementare.

Tehnica modelării, adică realizarea practică a acestor „circuite logice“ a evoluat mult în ultimii douăzeci de ani. Releele au fost înlocuite cu tuburi, apoi cu tranzistoare și mai recent cu circuite integrate. S-au realizat astfel „blocuri logice“ complexe, ale căror circuite microminiaturizate au performanțe ridicate în ceea ce privește viteza de trecere dintr-o stare în alta și posibilitățile de combinare între ele. Aceasta a permis modelarea unei mari varietăți de funcțiuni logice. Calculatoarele electronice de mare viteză sînt capabile de a efectua

cîteva zeci de milioane de operații logice elementare pe secundă, ceea ce le permite să efectueze calcule complexe, cu o viteză superioară celei a omului.

5. Modele ale neuronului și ale rețelelor neuronale

În dorința sa de a cunoaște modul de funcționare a creierului, omul a început prin a modela, la diverse nivele de complexitate, însăși structura nervoasă.

Impulsul în această direcție a fost dat la lucrarea fundamentală a lui McCulloch și Pitts în care se afirmă că „orice funcționare care poate fi definită logic, strict și fără ambiguitate, printr-un număr finit de cuvinte, poate fi realizată printr-o rețea de neuroni formali“¹. În realizarea „neuronilor formali“ s-a ținut seama de caracteristicile esențiale ale neuronului viu.

Datele neurofiziologice de la care s-a plecat în elaborarea diferitelor modele sînt următoarele: o celulă nervoasă sau neuron este formată dintr-un corp (sau somă) din prelungirile dendritice și din prelungirea axonală cu ramificațiile ei colaterale și terminale (fig. 3.7). În condiții de repaus, diferența de potențial dintre interiorul și exteriorul membranei neuronale este de aproximativ 60 mV (1 milivolt = 0,001 volți). Agenți exteriori electricei sau chimici ce depășesc un anumit prag pot scoate celula din starea de repaus, determinînd apariția unui „potențial de acțiune“ sau de vîrf (spike) de ordinul a 80—100 mV (fig. 3.8). Acesta se propagă în lungul axonului, cu o viteză de 2—200 m/sec, spre terminațiile dendritice ale altor neuroni. Pe durata stării de excitație, pragul neuronului se modifică față de valoarea de repaus P (fig. 3.9). În perioada refractară absolută (T de ordinul 0,5—2 ms, neuronul nu mai poate fi excitat; în perioada refractară relativă care urmează ($T = 10—20$ ms) valoarea pragului descrește exponențial spre valoarea de repaus. Impulsurile excitatoare sosesc în diverse puncte ale prelungirilor dendritice, prin așa-numite

¹ W. S. McCULLOCH and W. H. PITTS, *A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity*, în „Bulletin of Mathematical Biophysics“, 1943.

tele sinapse ce fac legătura cu ramificațiile terminale ale axonilor altor celule. Unele impulsuri sînt excitatoare, altele inhibitoare. Neuronul însumează excitațiile sosite de la mii de celule nervoase și la rîndul lui trimite impulsuri spre mii de alte celule.

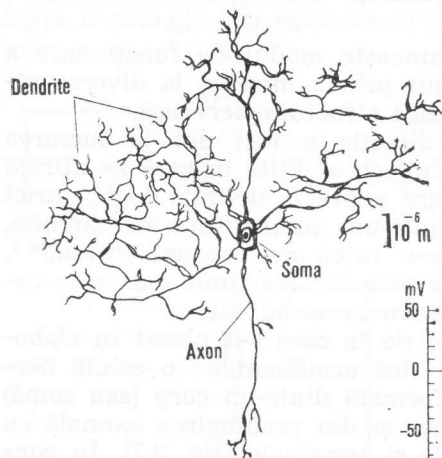


Fig. 3.7

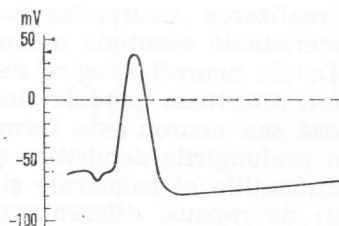


Fig. 3.8

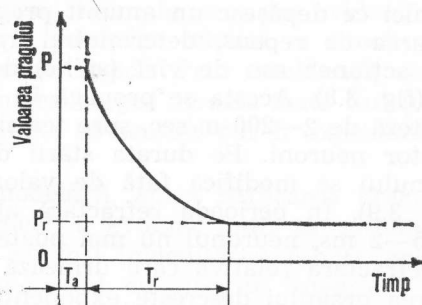


Fig. 3.9

Pentru a sintetiza și preciza toate aceste date asupra funcționării celulei nervoase s-au elaborat diverse modele matematice, logice și fizice. O schemă logică a funcțio-

nării neuronului¹ este prezentată în fig. 3.10. Excitanții² acționează asupra membranei somato-dendritice care funcționează ca un traductor și un sumator. Semnalul de la ieșirea sumatorului acționează un generator de impulsuri cu prag, reprezentînd conul de origine al axo-

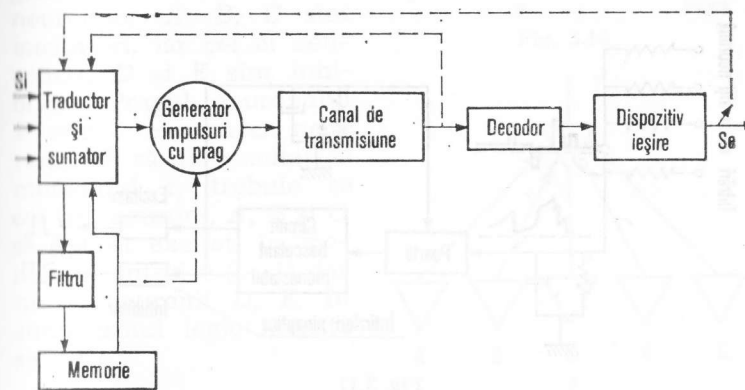


Fig. 3.10

nului. Impulsurile modulate în frecvență sînt transmise pe canalul de transmisiune ce reprezintă axonul. Un dispozitiv de decodare transformă impulsurile într-un potențial gradat iar dispozitivul de ieșire transformă fenomenul electric în fenomen chimic. Memoria de durată este reprezentată printr-un dispozitiv de memorare ce primește prin intermediul unui filtru unele din excitațiile de intrare, influențînd la rîndul lui, atît starea sumatorului cît și a generatorului de impulsuri (liniile punctate). Posibilitatea propagării inverse a impulsurilor axonale — așa-numita propagare antidromică — este reprezentată în model prin cele două conexiuni inverse, dintre ieșirea axonului și sumator.

Iată acum un alt model al neuronului propus sub numele de „neuromim”² și realizat cu dispozitive electro-

¹ EDMOND NICOLAU și C. BĂLĂCEANU, *Elemente de neurocibernetică*, Editura științifică, București, 1967.

² W. A. von BERGEIJK and L. D. HARMON, „What Good Are Artificial Neurons? „Proc. of First Bionics Symposium“, Massachusetts, U.S.A., 1960.

nice (fig. 3.11). Semnalele primite de la diverse surse sînt însumate spațial și temporal cu ajutorul rețelei rezistive iar rezultatul este aplicat porții P . Dacă nivelul impulsului de intrare depășește „pragul” porții P , atunci aceasta transmite semnalul spre circuitul basculant mono-

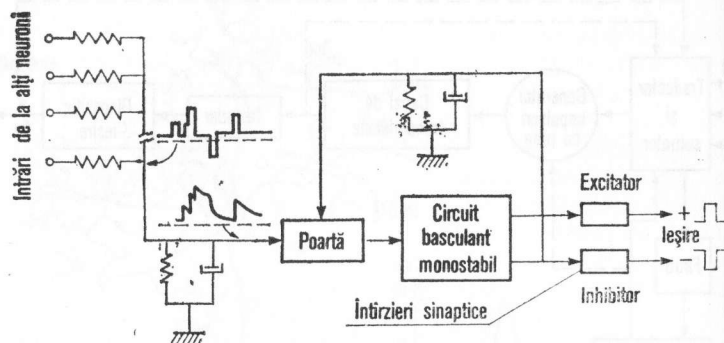


Fig. 3.11

stabil (CBM) care furnizează la ieșire un impuls pozitiv (excitator) sau negativ (inhibitor). O parte din semnalul de la ieșirea monostabilului este readus la intrarea porții pentru a-i modifica pragul și a permite simularea „perioadei refractare” a neuronului real.

Trecerea de la modelarea neuronului la modelarea rețelelor de neuroni întâmpină dificultăți încă și mai mari datorită, pe de o parte, numărului uriaș de interconexiuni ale rețelei reale și, pe de altă parte, a varietății de tipuri de neuroni care desfid o standardizare inginerască. De altminteri, multe dintre aspectele funcționării acestei complexe rețele sînt încă necunoscute, iar încercările de a o descrie recurg în mod necesar la o serie de simplificări.

Astfel, McCulloch și Pitts au considerat neuronul ca fiind un dispozitiv digital — binar — a cărui funcționare este de tipul „tot sau nimic”. Cu alte cuvinte el se poate găsi numai în două stări, excitat sau neexcitat, iar intensitatea semnalului la ieșire poate avea numai două valori (fig. 3.12). Cu acest element de bază, McCulloch și Pitts au elaborat modele de rețele neuronale care rea-

lizează diverse funcții logice. În figura 3.13 a, s-a reprezentat o rețea neuronală care realizează funcția de conjuncție logică. Bulbii terminali ai neuronilor A , B , C sînt excitatori, iar cei ai neuronilor D și E sînt inhibitori. Pragul neuronului P este 3. Pentru ca neuronul P să fie excitat la momentul t , trebuie ca cei trei neuroni, A , B și C să fi fost excitați în momentul anterior ($t-1$) dar nu și neuronii D , E . În simbolismul logic aceasta se scrie :

$$P(t) = A(t-1) \cdot B(t-1) \cdot C(t-1) \cdot \overline{D(t-1)} \cdot \overline{E(t-1)}.$$

Rețeaua din figura 3.13 b realizează funcția logică „SAU” (disjuncția) :

$$P(t) = A(t-1) + B(t-1) + C(t-1).$$

Rețeaua din figura 3.13 c este o rețea de întârziere prin unități discrete de timp :

$$C(t) = B(t-1) = A(t-2).$$

Pe baza acestor rețele elementare se pot realiza modele logice ale unor

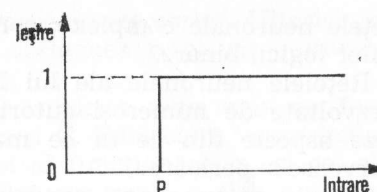


Fig. 3.12

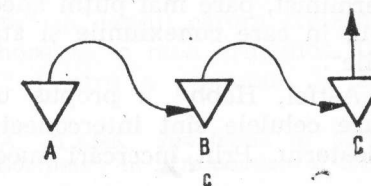
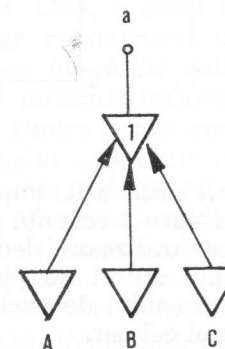
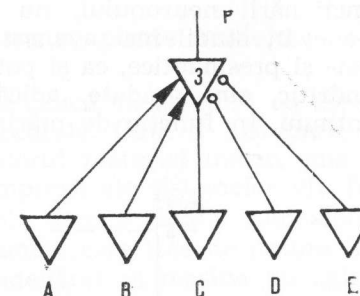


Fig. 3.13

rețele neuronale complexe, corespunzătoare tuturor funcțiilor logicii binare.

Rețelele neuronale ale lui McCulloch și Pitts au fost dezvoltate de numeroși autori care au căutat să modeleze aspecte din ce în ce mai complexe ale activității nervoase superioare.

Ulterior s-au căutat modele mai conforme cu realitatea, în care s-a ținut seama și de aspectul analogic al funcționării neuronului, nu numai de cel digital. Într-adevăr, studii mai avansate au arătat că potențialele post- și presinaptice, ca și potențialul de acțiune somato-dendritic, sînt gradate, adică amplitudinea lor variază continuu, în funcție de mărimea excitantului (fig. 3.14).

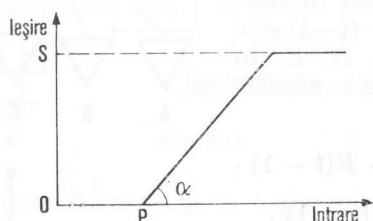


Fig. 3.14

Mai mult decît atît, impulsurile care transmit informația pe axon au o frecvență proporțională cu excitația neuronului (se utilizează deci „modulația de frecvență”). În sfîrșit, alți autori au pus în evidență fluctuațiile statistice ale pragului de excitație neuronal, în funcție de metabolismul celular.

Pe de altă parte, pentru a descrie funcționarea rețelilor neuronale reale, care au un număr foarte mare de elemente (de ordinul 10^{10}), un algoritm logic, strict determinist, pare mai puțin adecvat decît un model aleatoriu, în care conexiunile și stările ar fi „statistic probabile”.

Astfel, Hebb¹ a propus un model al creierului, în care celulele sînt interconectate într-o rețea organizată aleatoriu. Prin încercări succesive, conexiunile utile se

¹ D. O. HEBB, *The Organization of Behavior*, Willey, 1949.

întăresc, constituind „trasee de memorie”. Ulterior, Farley și Clark au simulat o asemenea rețea cu ajutorul unui calculator digital¹.

Modele complexe ale rețelilor neuronale au fost elaborate de Edm. Nicolau și C. Bălăceanu² care înglobează atît aspectul determinist al funcționării cît și cel aleator, apropiindu-se de funcționarea reală a sistemului nervos.

6. Ce se poate și ce nu se poate modela

Desigur o întrebare se ridică, în legătură cu modelarea tehnică a funcțiilor cerebrale. Cum a fost oare posibil să se modeleze, cu ajutorul materiei inerte, una dintre activitățile cele mai complexe ale sistemelor vii, fruct al unei lungi evoluții? Este oare o simplă coincidență sau există o explicație profundă, care ține de natura însăși a acestei evoluții? Este adevărat că mașina nu „gîndește” în sensul uman al termenului. Căci, a gîndi este o activitate complexă care, pe lîngă raționament mai implică și imaginație, intuiție, asociere liberă de date pentru a crea structuri noi, totul fiind puternic influențat de stările afective ale individului. Dintre toate aceste aspecte ale activității cerebrale a omului „creierul” mașinii este capabil să redea doar pe acela legat de calcul și de raționament. El calculează repede și corect, evident conform indicațiilor date de noi. Dar este remarcabil cît de bine se pretează „creierul” tehnic acestei funcțiuni. Atît de bine, încît cu greu s-ar putea deosebi răspunsurile lui de cele ale unui interlocutor uman, evident în sfera de probleme pe care el le cunoaște.

Produs al inteligenței umane, inteligența mașinii vine să o întregască și să o amplifice pe aceasta, ducînd la noi „structuri inteligente” în cadrul cărora creierul biologic și cel tehnic colaborează în mod armonios. Dar de unde această armonie? Pentru a răspunde la această

¹ B. G. FARLEY, W. A. CLARK, *Simulation of Self-Organizing Systems by Digital Computer*, în „Transaction of the IRE”, 1954.

² Op. cit.

întrebare să vedem cum s-a format inteligența umană, cu modul său de a raționa.

Aruncînd o privire asupra evoluției omului, îl vedem în permanentă luptă cu mediul înconjurător, format din obiecte inerte și din ființe vii. În fiecare moment el trebuia să facă față nenumăratelor probleme pe care i le punea acest univers necunoscut ce îl înconjura. El observa mediul înconjurător, îi testa proprietățile, lua decizii și acționa. Dacă raționamentul și deci deciziile erau greșite, pedeapsa nu întârzia să apară, prin eșecul acțiunilor sale. O selecție naturală lentă dar sigură, a structurat în oameni un sistem logic care corespunde exact relațiilor materiale ale universului înconjurător. Dar pentru a ști că doborîrea unui copac se poate face cu o secure SAU cu un fierăstrău, au trebuit ani de experiență. Iar pentru a desprinde din aceste constatări practice, o regulă formală, au trebuit mii de ani de gîndire.

Raționamentul uman s-a modelat după imaginea universului material care ne înconjură. La începutul acestui secol, H. Bergson scria în această privință ¹ „... Ea (inteligența noastră) se simte la ea acasă, atîta timp cît este lăsată printre obiectele inerte... unde acțiunea noastră își găsește punctul de sprijin... Ea s-a format prin contactul cu materia brută“.

Este deci normal ca proprietățile acestei „materii brute“, al cărei contact permanent a servit la dezvoltarea inteligenței, să se regăsească în însuși mecanismul acestei inteligențe. Acest mecanism trebuie deci să poată fi reprodus cu elementele materiale ale universului înconjurător. Formată prin contactul cu materia inertă, este de așteptat ca logica umană să poată fi modelată de materia inertă.

Dar posibilitățile de modelare a inteligenței umane par a se opri la aspectul pur logic. Căci reflectarea conștientă a realității înconjurătoare a dat inteligenței umane noi dimensiuni, necunoscute celei tehnice. Pe lîngă raționalitate, reflectarea conștientă mai presupune și inten-

ționalitate, reprezentarea anticipativă a viitorului, alegerea și urmărirea unor scopuri, crearea de structuri noi (mentale sau fizice) și selectarea lor conform unor criterii de valoare. Toate acestea sînt aspecte specific biologice ale inteligenței, care nu se pot modela cu ajutorul materiei inerte, întrucît țin de structuri cu organizări diferite.

„...gîndirea noastră, sub forma sa pur logică, este incapabilă de a-și reprezenta adevărata natură a vieții, semnificația profundă a mișcării evolutive“ scria tot Bergson ¹, care delimitînd posibilitățile inteligenței, a accentuat resursele insuficient explorate ale intuiției umane.

Tocmai această combinație de logică și intuiție, de algoritm și heuristică, determină marea eficiență a creierului uman. Spre deosebire de acesta, creierul mașinii funcționează în mod pur determinist și pe un număr mult mai restrîns de probleme. Dar în aceste cîteva domenii, el reușește să depășească uneori, performanțele noastre.

¹ HENRI BERGSON, *L'évolution créatrice*, Press Universitaires de France, Paris, 1966 (Ed. 118).

² Op. cit.

CAPITOLUL IV

Mecanismul memoriei

*„Memorie, ce-mbini prezentul
Cu lanțul timpului trecut ;
Te-admir, ciudată locuință,
A formelor ce-au dispărut“.*

SULLY PRUDHOMME

1. Tipuri de memorii și caracteristicile lor

Permanentei transformări a obiectelor și fenomenelor, principiu universal pe care Heraclit l-a sintetizat în acel „panta rei“, materia i-a opus o proprietate capabilă de a contracara această instabilitate, menținând forme durabile pe anumite intervale de timp.

Observabilă în anumite structuri sau fenomene fizice ale căror stări dăinuiesc cu o persistență mai mare sau mai mică, această proprietate avea să se dezvolte considerabil în cadrul sistemelor biologice, cărora le asigură stabilitatea și organizarea progresivă. Astfel, încă de la cele mai simple forme de viață se pot observa fenomene de întâmpănare a unor excitanți externi, fizici sau chimici, de păstrare a reacțiilor ce au apărut în urma lor.

Experiențe recente au dus la concluzia că plantele, ca și animalele, au memorie și sînt în stare să dobîndească reflexe condiționate. Experimentîndu-se cu diferite plante s-a constatat că ele „țin minte“ frecvența descărcărilor luminoase produse de o lampă cu xenon. După o anumită repetare a impulsurilor luminoase, plantele au reprodus cu exactitate ritmul stabilit înainte. Impulsurile „memorate“ de plantă au fost puse în evidență pe ecranul unui osciloscop.

Cunoscută la nivelul individual sub numele de memorie și la nivelul speciei sub numele de ereditate, această proprietate este realizată în ultimul timp și cu ajutorul dispozitivelor tehnice, formînd așa-numitele „memorii“ ale calculatoarelor. În toate aceste cazuri există o înmagazinare de informație, pe un suport fizic, ale cărui stări sînt elementele unui cod.

Suportul fizic și mecanismul memoriei umane sînt departe de a fi tot atît de bine cunoscute ca cele ale memoriilor tehnice.

Studiat inițial de către psihologi la nivelul proprietăților sale globale, mecanismul memoriei este supus astăzi, de către neurologi, unei analize minuțioase, în scopul determinării suportului său fizic, a modului de codificare a informațiilor, precum și al organizării progresive a acestor informații. Problema este departe de a fi rezolvată.

O altă formă de memorie, memoria ereditară, permite conservarea, prin reprezentanții succesivi ai unei specii, a caracterelor fundamentale care s-au dovedit utile pentru supraviețuire. Suportul material al acestei informații este constituit de către genele din gameții celulelor sexuale. Modul de transmitere a acestei informații a început a fi descifrat, așa cum s-a arătat în capitolul II, dar modul cum se înregistrează ea, respectiv cum se structurează patrimoniul genetic, de la simplu la complex, iată o problemă deschisă.

Caracteristicile principale ale unei memorii (tehnice sau biologice) sînt :

- *capacitatea*, adică cantitatea de informație pe care o poate înmagazina ;
- *timpul de acces*, adică timpul necesar utilizatorului pentru a găsi o informație înscrisă și a o extrage ;
- *metodele de acces*, adică metodele utilizate pentru a înscrie și a citi informația.

O memorie mai comportă și alte caracteristici ca, de exemplu, natura suportului său fizic, timpul de păstrare a informațiilor înregistrate, dacă datele sînt șterse după lectură sau nu, dacă menținerea datelor necesită un consum de energie sau nu etc.

Toate aceste caracteristici sînt legate de caracteristicile circuitelor logice cu care este conectată. Un bloc

logic cu performanțe ridicate, implică o memorie de mare capacitate și de acces rapid, calități care pot fi greu îndeplinite simultan. În lumea biologică precum și în domeniul tehnic se observă un efort susținut pentru a găsi soluții ingenioase la această problemă.

2. O enigmă în curs de dezlegare : memoria umană

În cadrul psihologiei tradiționale, memoria era redusă la o proprietate funcțională primară a sistemului nervos, aceea de *simplă întipărire* a unor trasee elementare. Procesele mnemice erau privite sub o formă simplistă, în care realitatea era fotografiată în mod pasiv, prin acumulare de date.

Ulterior au început a fi luate în considerare procesele de *integrare* a datelor, memoria jucind un rol activ în organizarea logico-semantică a materialului înregistrat.

Piaget¹ distinge mai multe forme de manifestare a memoriei umane. Cea mai elementară ar fi aceea a simplei „recunoașteri” a unui obiect, în prezența sa; este vorba deci de activarea unei scheme senzomotorii, constituită și întipărită prin prezentări anterioare ale obiectului. Forma superioară de manifestare a memoriei ar fi aceea de „evocare” a unor obiecte sau evenimente care nu sînt percepute în prezent. Evocarea presupune și ea scheme, însă scheme conceptuale sau operatorii, care implică un simbolism (imagini mintale, limbaj), procese de inferență și de organizare logică, necesare reconstituirii trecutului.

De menționat că în afară de evenimentul propriu-zis, memoria mai înregistrează concomitent și coordonatele temporale și spațiale în care el s-a produs precum și valoarea sa, în cadrul unei anumite semnificații.

După M. Golu², memoria este o parte componentă a sistemului psihic integral, fiind puternic condiționată de celelalte subsisteme psihice particulare: atenția, gîndirea, motivația, afectivitatea etc. Ea este legată de toate

¹ JEAN PIAGET, *Biologie și cunoaștere*, Ed. Dacia, Cluj, 1971.

² MIHAI GOLU, *Principii de psihologie cibernetică*, Ed. științifică și enciclopedică, București, 1975.

aceste subsisteme psihice, mediind în același timp, interacțiunea dintre ele (fig. 4.1).

Una din caracteristicile importante ale memoriei umane este caracterul său asociativ. Aceasta înseamnă că datele nu se înregistrează separat, ci în legătură unele cu altele, prin structurarea de engramă din ce în ce

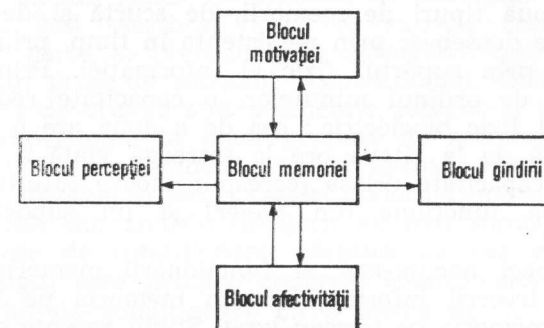


Fig. 4.1

mai complexe. Această soluție este nu numai foarte economică din punctul de vedere al circuitelor de memorie dar și de o mare eficiență în ceea ce privește extragerea și utilizarea datelor înregistrate.

Dacă o astfel de soluție — memoria asociativă — a putut fi elaborată în cadrul sistemelor biologice, aceasta se datorește tocmai faptului că funcția de memorie este, în sistemul nervos, intim corelată cu aceea a prelucrării informației: ambele funcțiuni dispun practic de aceleași elemente neuronale. O funcționare îndelungată a acestor elemente, determină modificări structurale mai mult sau mai puțin persistente, modificări care reprezintă suportul fizic al memoriei.

După anumiți cercetători, aceste modificări ar consta în apariția unei activități neuro-electrice secundare într-o rețea neuronală excitată de un flux nervos, activitate care se menține un anumit timp după suprimarea stimulului care a produs-o. Acest traseu mnemonic elementar poate fi întărit, repetind stimularea.

Ipoteza întreținerii îndelungate a unei activități electrice în aceste „circuite reverberante” pare aptă a explica

mecanismul memoriei de „scurtă durată“ în cadrul căreia traseul mnemonic dispare după citva timp (minute-ore) dacă nu este întărit. Ea nu poate explica memoria de „lungă durată“ care își păstrează informația chiar după aplicarea unor electroșocuri, sau în caz de anestezie profundă, pe bază de barbiturice, cazuri în care întreaga activitate electrică a creierului este profund perturbată.

Cele două tipuri de memorii, de scurtă și de lungă durată, se deosebesc prin persistența în timp, prin capacitate și prin suportul fizic al informației. Prima are o durată de ordinul minutelor, o capacitate redusă și un suport fizic bioelectric; cea de a doua are o durată ce variază de la câteva ore la întreaga viață a individului, o capacitate uriașă (corespunzătoare tuturor neuronilor în funcțiune din creier) și un suport fizic biochimic.

Un aspect necunoscut al funcționării memoriei este acela al trecerii informațiilor din memoria pe termen scurt în memoria pe termen lung. Studii recente au scos în evidență importanța somnului paradoxal (faza somnului în care intervin visele) pentru acest transfer. Experiențe efectuate asupra șobolanilor au arătat că lipsa somnului diminuează în mod semnificativ reținerea — pe termen scurt sau lung — a unei instruiți simple.

O altă ipoteză asupra memoriei, mai plauzibilă, este aceea a modificării persistente a sinapselor după aplicarea repetată a aceluiași stimul.

O ipoteză recentă, în general acceptată, este aceea a modificării moleculelor neuronale însăși, mai exact, a proporției de constituanți proteici. Conform acestei ipoteze, informația furnizată de către organele de simț și codificată prin impulsurile electrice modulate în frecvență, sosește la celula nervoasă, unde determină apariția unei molecule de ARN, stabilă pentru această frecvență, deci specifică. Această moleculă de ARN induce în neuron o proteină specifică, care provoacă o descărcare la nivelul sinapsei, permițând astfel informației de a trece prin sinapsă spre celula următoare. Fiecare informație ar determina deci, modificări specifice, la nivelul celulei nervoase, modificări care ar deveni stabile prin repetare.

În sprijinul acestei ipoteze se pot cita experiențele privind transferul de informație prin „extrase de creier“, sau acelea ce scot în evidență raportul ce pare a exista între activitatea nervoasă și concentrația de ARN.

Prima dintre experiențele citate constă în a învăța un grup de șobolani să efectueze o anumită acțiune simplă (un reflex condiționat, de exemplu). Acești șobolani sînt sacrificați și li se extrage creierul. Pe de altă parte, se procedează la extragerea creierului și dintr-un grup de șobolani necondiționați. Cele două categorii de creiere sînt prelucrate separat și apoi injectate intraperitoneal la două grupuri de șobolani necondiționați, fiecare animal primind aproximativ produsul corespunzător la patru creieri donori. După două ore, animalele din ambele categorii au fost supuse unei experiențe de condiționare, identică cu cea a donatorilor. Grupul care primise creierele condiționate a atins criteriul de condiționare cu o medie de 72 de erori, iar grupul neutru, cu o medie de 122 erori, deci mai greu. Trebuie totuși de menționat că experiența nu s-a repetat pentru alte tipuri de instruire; o altă obiecție importantă care s-a adus este aceea că macromoleculele injectate nu pot ajunge la creier fără a fi degradate la trecerea prin organismul acceptor.

Aceste multiple ipoteze, precum și controversale pe care le-au suscitāt, arată că mecanismul memoriei umane este în atenția cercetătorilor, dar că mai este necesar un efort susținut pentru a descifra algoritmul acestei structuri cu un înalt grad de autoorganizare.

Incontestabil, memoria constituie una din proprietățile esențiale ale funcționării unui sistem biologic, care îi permite să-și perfecționeze activitatea, în funcție de experiența trecută.

În rețeaua de trasee minuscule ale memoriei umane, sînt țesute nenumăratele evenimente ale existenței individului, în reperele temporale și afective care îi sînt proprii. Îmbogățindu-se și reorganizîndu-se cu fiecare nouă trăire, memoria formează fundalul uriaș pe care se proiectează activitatea prezentă, dînd individului sentimentul reconfortant al continuității existenței sale.

3. Memorii tehnice

Am văzut că circuitele logice lucrează cu precădere în logica binară. Este de așteptat ca memoria, care va lucra în combinație cu aceste circuite, să fie tot de tip binar, adică formată din elemente capabile de a se găsi în două stări distincte. Aceste stări vor trebui să poată fi comandate, menținute și regăsite, operații care corespund la înregistrarea și citirea informației.

Elementul binar de memorie cel mai simplu este releul electromagnetic. Odată ce a primit comanda de trecere într-o anumită stare (deschis sau închis) el își păstrează această stare pînă la un nou ordin.

Același rol poate fi jucat de un circuit cu două dispozitive electronice (tuburi, tranzistoare) care prezintă de asemenea două stări distincte; este vorba de așa-numitul „circuit basculant bistabil“. Memoriile cu tuburi, utilizate în primele calculatoare au fost abandonate, elementele componente fiind lente în trecerea dintr-o stare în alta, costisitoare și de volum mare (memoria primului calculator cu tuburi electronice ENIAC, construit în anul 1945, conținea 18 000 tuburi și consuma 150 kW). Astăzi, memoriile cu circuite basculante bistabile se construiesc cu tranzistoare sau, mai recent, cu circuite integrate, ceea ce le reduce mult volumul și consumul de putere, le crește viteza și siguranța în funcționare.

O mare varietate de memorii tehnice, dintre cele mai moderne, a fost realizată cu ajutorul materialelor magnetice, care, după cum se știe, pot prezenta două stări magnetice diferite. Aceste stări se păstrează chiar după încetarea curentului care le-a produs; iată deci, un element de memorie binar, ce nu necesită sursă de energie pentru întreținerea informației înregistrate.

Elementul de bază este constituit dintr-un inel de ferită, ale cărui dimensiuni, în continuă descreștere datorită tendinței de miniaturizare, au ajuns acum, la 0,76 mm diametrul exterior, 0,51 mm diametrul interior și 0,15 mm grosimea. Prin aplicarea unui curent în înfășurarea de excitație ab (fig. 4.2, a), materialul se magnetizează, într-un sens sau în celălalt, în funcție de sensul curentului. După încetarea acestuia, inducția re-

manentă va avea valoarea $+B_r$ sau $-B_r$ (fig. 4.2, b), valori care sînt puse în corespondență cu cele două semne binare 0 și 1. Citirea informației înmagazinate în inelul de ferită se face testind starea miezului; pentru aceasta se detectează variația de flux și deci semnalul obținut în înfășurarea cd la trecerea materialului într-o stare anumită — de referință —, prin aplicarea unui curent „de citire“ totdeauna de aceeași polaritate. Acest mod de citire este distructiv, ferita pierzîndu-și magnetizarea inițială. Există diverse soluții și pentru realizarea unei citiri nedistructive.

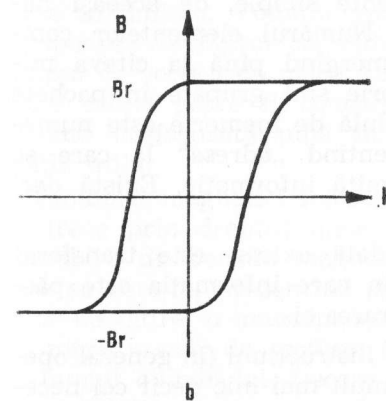
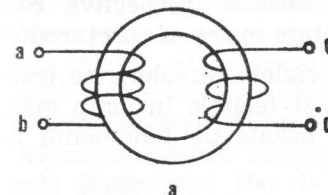


Fig. 4.2

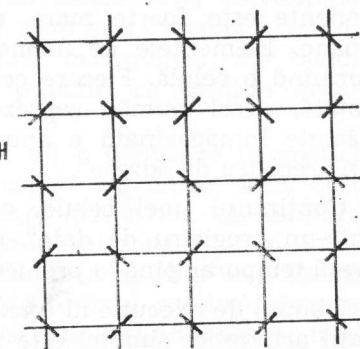


Fig. 4.3

O memorie cu ferite este constituită dintr-un mare număr de asemenea inele, de ordinul miilor, interconectate pe linii și coloane (fig. 4.3).

Cu toate că timp de aproape douăzeci de ani, memoriile cu ferită au fost aproape singurele utilizate pe

scară industrială, tendința de creștere a vitezei de lucru a determinat căutarea altor soluții (din momentul în care miniaturizarea inelului a atins o limită tehnologică).

Au fost realizate memorii cu plăci de ferită perforate, cu bare de ferită, cu pelicule magnetice, cu benzi țesute din ferite, cu elemente transfluxor ș.a.

Dintre memoriile de alte tipuri cărora li se prevede o dezvoltare importantă în cadrul celei de a patra generații de calculatoare, menționăm pe cele bazate pe principiul holografiei. Stocarea holografică a informației este considerată a fi una din principalele direcții aplicative ale laserilor în următorii ani, tehnica respectivă răspunzând unor cerințe de capacitate mare și preț redus.

Alte perspective le oferă materialele feroelectrice (care în câmp electric se comportă ca și feritele în câmp magnetic) sau memoriile criogenice bazate pe fenomenul de supraconductibilitate.

O „memorie” tehnică este constituită prin asocierea unui mare număr de elemente simple, de aceeași natură în structuri ierarhice. Numărul elementelor componente este foarte mare, mergînd pînă la cîteva milioane. Elementele de memorie sînt grupate în pachete formînd o celulă. Fiecare celulă de memorie este numerotată, acest număr reprezentînd „adresa” la care se găsește înmagazinată o anumită informație. Există deci un „registru de adrese”.

Conținutul unei celule, odată extras, este transferat într-un „registru de date” în care informația este păstrată temporar pînă la prelucrarea ei.

Timpul de execuție al unei instrucțiuni (în general operații aritmetice simple) este mult mai mic decît cel necesar pentru a consulta conținutul unei celule de memorie sau a înscrie ceva în celulă. Deocamdată memoria este un organ relativ lent care frînează posibilitățile calculatorului. Cu cît crește numărul elementelor componente, condiție a înmagazinării unei cantități mai mari de informație și deci a extinderii posibilităților calculatorului, accesul la memorie devine mai greu și mai lent.

O soluție care a permis imbinarea cerințelor de capacitate și viteză mare a fost aceea a „memoriei auxiliare”. Aceasta este o memorie de capacitate mare dar de acces lent, în care se țin în rezervă informații care nu servesc în calculele curente și nu sînt necesare decît din cînd în cînd. În acest caz, ele sînt transferate memoriei rapide aflată în directă legătură cu circuitele logice de calcul.

Se observă că memoria auxiliară este analogă memoriei de lungă durată a sistemelor biologice, în timp ce memoria rapidă corespunde memoriei de scurtă durată. Memoria auxiliară este realizată cu benzi magnetice, cu tamburi sau cu discuri.

Memoria cu benzi funcționează pe un principiu similar cu cel al magnetofonului. Banda magnetică, prevăzută cu 7—9 piste trece prin fața unor capete de înregistrare, respectiv citire a informației sub formă binară.

Avînd în vedere lungimea mare a benzii (700 m), pe bandă încap cam 100 de milioane de semne binare, în timp ce în memoria rapidă nu se pot înmagazina decît circa un milion. Volumul mare al acestei memorii este compensat de faptul că, citirea benzii fiind secvențială, timpul de acces este mare. În timp ce la memoria rapidă orice celulă poate fi consultată instantaneu, aci banda trebuie desfășurată pînă în punctul ce conține informația utilă.

Tamburii magnetici folosesc tot o depunere magnetică ce trece prin dreptul unor capete de citire. Dar, spre deosebire de benzile magnetice, aici avem un cilindru care se rotește, prezentînd spre explorare, în fața capetelor de citire, o anumită secțiune a sa (fig. 4.4). Există un mare număr de secțiuni (de ordinul sutelor), dispuse în lungul cilindrului, fiecare secțiune fiind analogă unei benzi relativ scurte, ce se încheie în buclă. Numărul de cifre binare ce poate fi înregistrat pe o astfel de memorie este ceva mai mic decît în cazul precedent (circa 10 milioane) dar accesul la informații este în schimb mai rapid; el nu mai este pur secvențial, ci combinat. Mai întîi se alege pista, definită prin numărul ei iar apoi, căutarea informației pe pistă e secvențială. Dar, avînd

în vedere că tamburul se învîrtește cu aproximativ 3 000 de rotații pe minut, explorarea secvențială e relativ rapidă.

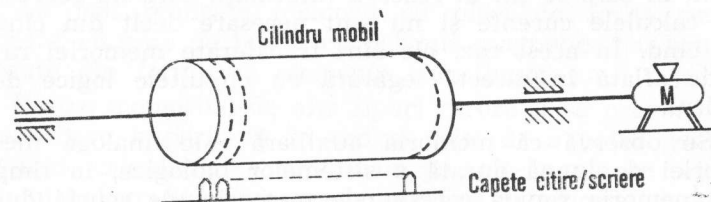


Fig. 4.4

Discurile magnetice sînt o altă variantă de memorie auxiliară, de capacitate mai ridicată, dar cu timp de acces mai lung decît memoria cu tambur. Materialul magnetic este dispus pe fețele unui disc plan iar pistele circulare sînt explorate de către capetele de citire ce se pot deplasa în lungul unei raze a discului.

În memoria auxiliară a unui calculator se pot întîlni unul sau mai multe din tipurile menționate (de exemplu, un tambur și cîteva benzi magnetice). Schimbul de informație dintre memoria rapidă și cea auxiliară este de ordinul a 100 000 de simboluri pe secundă. Timpul necesar pentru a încărca complet memoria auxiliară este însă ridicat, de ordinul secundelor.

4. O memorie autoorganizabilă

Aspectul cel mai deficitar al funcționării mașinii în comparație cu creatorul și modelul său, omul, este fără îndoială acela privind funcționarea memoriei. Ori, aceasta condiționează autonomia mașinii, determinînd, pentru o perioadă încă nedefinită, dependența sa strînsă față de om. Căci atîta timp cît memoria tehnică nu va fi capabilă să se reorganizeze singură, pe baza prelucrării informației, nu acumulînd mecanic date, ci combinîndu-le cu cele deja existente pentru a forma structuri noi, mașina va rămîne aservită performanțelor impuse de om.

Desigur, pentru un calculator electronic, organizarea actuală a memoriei este, în mare măsură, satisfăcătoare. În memorie se introduc instrucțiunile programului de executat precum și datele pe care trebuie să le prelucrez conform acestor instrucțiuni. La pornirea mașinii, instrucțiunile sînt extrase secvențial, descifrate și executate. Timpii de efectuare ai fiecărei etape sînt reglați minuțios ca și succesiunea operațiilor. Marginea de libertate a mașinii este nulă.

Dar oamenii vor mai mult decît un calculator! Ei vor un sistem cibernetic, capabil într-o măsură mai mare sau mai mică, de a se autoconduce. Autonomia este cea care îi conferă mașinii caracterul cibernetic și chiar dacă această autonomie este foarte redusă față de funcționarea programată — așa cum se întîmplă și cu organismele primitive — tocmai modalitățile de dezvoltare a acestei autonomii sînt cele care interesează.

Se poate dezvolta autonomia mașinii în condițiile actualei organizări a unei memorii tehnice? Se pare că nu. Memoriile actuale sînt rigide, greoaie în ceea ce privește înregistrarea și utilizarea unui mare număr de date și, ceea ce este mai important, ele sînt separate de blocul de calcul al mașinii. Ori, s-a văzut că soluția de mare eficacitate a sistemelor biologice a constatat în utilizarea acelorași elemente structurale, atît pentru prelucrarea, cît și pentru memorizarea informației. Aceasta asigură rapiditatea interacțiunii dintre funcția de memorizare și cea de calcul, cît și posibilitatea restructurării automate a informației înmagazinate, în urma activităților operaționale ale sistemului.

Într-adevăr, pentru ca mașina să poată acumula continuu informație pe parcursul activității sale — în scopul perfecționării acestei activități — fără a necesita o creștere proporțională a numărului celulelor de memorie, — ceea ce ar duce în cele din urmă la dificultăți serioase de „adresare” și regăsire a adreselor — este necesar ca ea să poată sistematiza în mod inductiv datele primite. Prin aceasta, înțelegem acea proprietate a sistemelor vii, evolute, de a extrage proprietățile esențiale, comune, dintr-o varietate de obiecte particulare, formînd astfel clase, la diverse niveluri de generalitate. Pe de altă parte,

între structurile stimulatoare care apar simultan sau care conduc la operații logice similare se formează legături asociative care se înregistrează de asemenea. Reiese deci, că o memorie eficientă trebuie să fie operativă, adică capabilă de a prelucra informația, pentru a o structura prin inducție și asociere.

Marea varietate de semnale stimulatoare care sosesc în permanență din mediul înconjurător, face necesară nu numai o clasificare și asociere, dar și o triere, pentru a memoriza numai ceea ce este necesar. Ca și omul, mașina va trebui să selecteze singură ceea ce este esențial pentru a nu-și încărca în mod inutil memoria. Dar care sînt criteriile de selecție? Pe de o parte frecvența cu care sistemul a avut nevoie de aceste date, iar pe de altă parte, importanța sau utilitatea acestora în atingerea scopului. Trebuie deci ca, pe măsură ce funcționează, circuitele care prelucrează informația să se modifice mai mult sau mai puțin, aceste modificări constituind suportul fizic al memoriei sistemului. Aceste modificări vor fi cu atât mai durabile cu cît circuitele respective vor fi funcționat mai mult sau vor fi prelucrat o informație mai importantă pentru sistem. Unele modificări vor trebui să se poată șterge dacă circuitele respective nu mai sînt activate pe o durată mai mare. Aceasta conduce la o memorie „fluctuantă”, în care informația se înregistrează cu o persistență variabilă. Există totuși și înregistrări definitive, în cazul în care modificările depășesc un anumit prag.

În esență, caracteristicile memoriei unei mașini cibernetice după modelul celei umane, sînt:

- organizarea datelor într-o ierarhie de clase și înregistrarea lor în structuri asociative;
- persistență variabilă a informației înregistrate în funcție de frecvența de utilizare și importanța datelor;
- existența unui prag peste care înregistrarea devine permanentă.

Pentru a elabora un model al unei astfel de memorii¹, vom începe prin a reprezenta o sursă de mesaje (un

¹ M. BELIȘ, Teză de doctorat, Institutul Politehnic București, 1966.

obiect, o ființă) printr-un ansamblu de puncte și linii, numit graf (fig. 4.5). Virfurile m_1 , m_2 , m_3 ale grafului reprezintă parametri fizici ai sursei (culori, forme, sunete), iar arcele care unesc două virfuri reprezintă probabilitățile condiționate de existență a parametrilor. De exemplu, $p(m_1/m_2)$ reprezintă probabilitatea ca parametre-

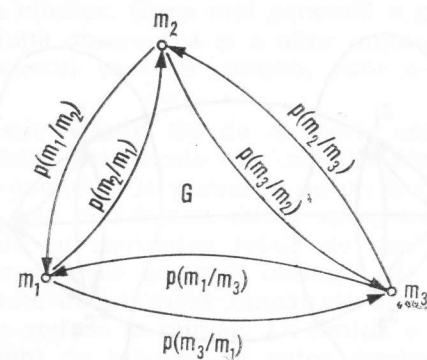


Fig. 4.5

trul m_1 să existe în prezența parametrului m_2 . Parametrii pentru care această probabilitate este egală cu 1, în prezența oricărui alt parametru al sursei, constituie parametri fundamentali sau invarianți; ei se regăsesc cu certitudine, indiferent de variațiile celorlalți parametri fizici ai sursei.

Mesajele care sosesc la intrarea sistemului sînt transmise, prin intermediul traductorilor de intrare, spre circuitele logice. Avînd în vedere că informația este vehiculată pe un suport fizic, atît în afara, cît și în interiorul sistemului, este de așteptat ca și circuitele logice, care trebuie să prelucreze această informație, să sufere modificări structurale în urma primirii semnalelor purtătoare de informație.

Aceste modificări structurale, indiferent de natura lor (electrică, chimică etc.) reflectă o anumită organizare a mediului ambiant. Se poate spune că universul înconjurător se proiectează în interiorul sistemului prin intermediul traductorilor săi. Această proiecție va depinde desigur de natura și performanțele traductorilor.

Din punctul de vedere al modelului propus, prin intermediul traductorilor se realizează o aplicație (sau corespondență) între mulțimea parametrilor fizici ai sursei și mulțimea celulelor nervoase excitate (fig. 4.6). Aceste celule formează vîrfurile unui alt graf iar legăturile între vîrfuri reprezintă conductanța electrică (sau facilitatea

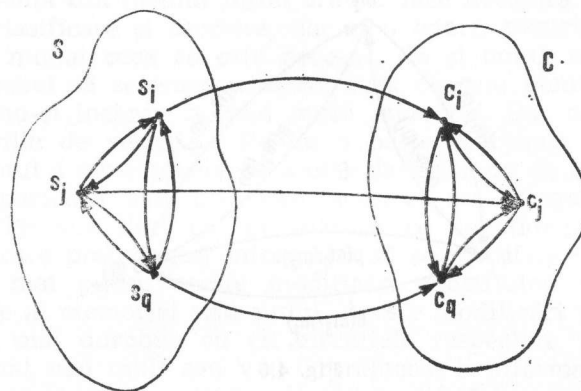


Fig. 4.6

de trecere a curentului electric). Valoarea conductanței electrice g_{ij} dintre două celule c_i și c_j are expresia $g_{ij} = U \cdot p(m_i/m_j)$ adică este proporțională cu probabilitatea condiționată de apariție a parametrului m_i în prezența parametrului m_j precum și cu un coeficient U care reprezintă utilitatea sau importanța sursei stimulatoare pentru sistem.

La apariția unei surse stimulatoare, se va excita o anumită configurație de celule nervoase, între care va circula un anumit curent, proporțional cu conductanța menționată. Modificările structurale ale celulelor și ale circuitelor de legătură sînt cu atît mai profunde — și deci mai durabile — cu cît sursa stimulatoare apare mai frecvent și cu cît este mai utilă pentru sistem. La depășirea unui anumit prag, modificările structurale devin definitive, intrînd în cadrul memoriei permanente.

Prin acest mecanism, se vor înscrie definitiv în memoria sistemului tocmai „invarianții” sursei adică para-

metri caracteristici, care apar în toate exemplarele particulare. De exemplu, din varietatea de ciini pe care îi întâlnește un copil el nu reține, după un anumit timp, nici culoarea, nici lungimea părului, care sînt parametri variabili, ci faptul că are patru picioare, un anumit raport între dimensiuni și că latră. În felul acesta, prin reținerea acestor invarianți, copilul își structurează în memorie clasa ciinilor. Clasa mai generală a patrupezilor se va forma după observarea și a altor animale și întărirea numai a acestui caracter comun, care s-a repetat cel mai des.

Caracteristic acestui tip de memorie este deci faptul că modificările structurale sînt cu atît mai durabile cu cît agentul excitator le parcurge de un număr mai mare de ori sau este mai intens. Altfel spus, modificările sînt proporționale cu cantitatea totală de excitație. Evident, o aceeași modificare poate fi obținută fie prin excitații slabe, repetate de un mare număr de ori, fie prin excitații intense reduse la număr. La limită, o singură excitație, suficient de intensă, ar putea depăși pragul și ar putea determina modificări structurale permanente. Este, de altminteri, ceea ce are loc în cazul memoriei umane: există imagini „de neuitat” chiar dacă au apărut o singură dată.

Intensitatea excitantului intern depinde de indicele de valoare sau utilitate pe care sistemul îl atașează diversilor stimulanți externi.

În cazul sistemelor primitive, acest indice este legat de natura fizică și direct proporțional cu intensitatea fizică a agentului stimulator. De exemplu, în cazul sistemelor biologice primitive sînt importante în special acele surse de semnal cu valoare vitală pentru sistem: adăpost, hrană etc.

Pe măsură ce un sistem este mai evoluat și poate prelucra o cantitate mai mare de informație, el își fixează o varietate mai mare de scopuri, din care unele, nelegate de funcționalitatea sa; indicii de valoare atașați surselor excitatoare sînt determinați acum de alte criterii, dar continuă să-și joace rolul. Un om, de exemplu, poate să-și întipărească pentru totdeauna în minte un tablou frumos, căruia i-a atașat o valoare — artistică — ridi-

cată, sau vorbele unei ființe dragi într-un moment de cumpănă.

O a doua categorie de conexiuni, care se formează în memorie, sînt cele ce leagă două configurații celulare — deci două surse stimulatorie — care s-au manifestat simultan, sau aparțin aceluiași domeniu semantic etc. Tipurile de conexiuni asociative sînt foarte variate și se înmulțesc pe măsură ce capacitatea sistemului de prelucrare a informației crește. Și aceste legături se întăresc progresiv în memorie, pe măsură ce, prin funcționarea sistemului, caracterul asociativ al diferitelor surse devine mai pregnant.

O astfel de memorie tehnică — dacă ar exista — s-ar apropia destul de mult de memoria umană. Ea ar permite acelei mașini — ipotetice, dar nu imposibile — care ar poseda-o, să dea dovadă de mult mai multă autonomie și inițiativă decît fratele său, calculatorul.

Ea i-ar permite să regăsească rapid informația stocată, nu căutînd într-un clasor uriaș de adrese ci urmărind filiera unor clasificări sau asociații cu valoare funcțională.

Ea i-ar permite să găsească rapid răspunsul corect la o anumită stimulare exterioară necunoscută, nu prin căutarea și selectarea miilor de corespondențe posibile ci prin particularizarea unor răspunsuri generale, atașate „clasei” de stimuli din care cel nou face parte.

Ea i-ar permite să uite ceea ce nu mai e util în activitatea sa, menținînd și împrăștiind în memorie numai informații cu valoare funcțională.

Ea i-ar permite utilizarea mult mai eficientă a heuristichilor — baza funcționării sale „inteligente” — o dată ce legături asociative sînt deja formate în memoria sa.

Ea i-ar permite chiar să „evoce” amintiri, prin excitația de la o sursă internă, a configurațiilor de celule cu memorie, în care informația nu se mai află depusă fragmentat ci prin nenumărate legături semantice. Aceste evocări ar putea fi apoi combinate, pentru a „crea” structuri noi. Dar selecția acestor structuri conform unui criteriu de valoare ar rămîne în continuare în sarcina omului, mînuitorul și creatorul de valori.

CAPITOLUL V

Mecanismul deciziei

„Libertatea voinței este capacitatea de a decide în cunoștință de cauză”.

FRIEDRICH ENGELS

1. De la automatismul organismelor inferioare la libertatea funcțională a omului

Urmărind comportarea unor organisme simple, constatăm o analogie uimitoare cu aceea a unui automat: ambele acționează conform unui program înscris în memorie. În cazul animalelor, programul se transmite pe cale genetică, în cazul mașinii, programul se fixează de către proiectant. Cu cît organismul este mai primitiv, cu atît comportarea sa este mai rigidă, mai strîns legată de programarea moștenită.

Ca și automatele mai perfecționate, organismele inferioare au la dispoziție de fapt, un număr de cîteva programe pe care le utilizează conform stimulilor veniți din mediul exterior sau din interiorul sistemului.

Există un program — adică o succesiune bine determinată de acțiuni — pentru procurarea hranei, altul pentru orientare, altul pentru reproducere etc. Aceasta conferă organismului respectiv — ca și automatului tehnic — o mare siguranță în funcționarea obișnuită, dar îi restrînge considerabil cîmpul de acțiune și îl face chiar complet inoperant în fața unor situații noi, neprevăzute, pentru care nu există program înregistrat.

Marea varietate de situații noi cu care este confruntat în permanență un sistem biologic, l-a pus pe acesta în

situația de a se abate uneori de la programul său obișnuit. Cu tot caracterul lor restrâns, aceste abateri de la program, aceste forme rudimentare de libertate de funcționare, aveau să confere animalului respectiv o superioritate netă în lupta pentru existență, permițându-i să supraviețuiască în condițiile necunoscute ale mediului înconjurător. Dar libertatea funcțională implică posibilitatea de alegere între diverse acțiuni, și aceasta la rândul ei necesită o anumită capacitate de prelucrare a informației. Aceste calități corelate s-au dezvoltat progresiv în cursul evoluției anumitor specii, și mai ales a celei umane, ducând la dezvoltarea unei structuri destinată prelucrării informației și anume a sistemului nervos.

Libertatea de funcționare a individului și posibilitatea de a lua decizii pe baza prelucrării informației, deci de a-și modifica sau chiar de a-și elabora complet programul în fața unor condiții neprevăzute, constituie unul dintre rezultatele remarcabile ale evoluției speciei umane, care o deosebește substanțial de celelalte specii biologice. Evident, la nivelul lor și animalele iau decizii; dar sfera de acțiune a acestor decizii, complexitatea situațiilor de incertitudine pe care le rezolvă și gradul de prelucrare a informației pe care o implică sînt mult mai restrînse. În plus, datorită dezvoltării vieții sociale a omului, au luat naștere *sisteme de valori*, care constituie noi criterii de apreciere a rezultatelor unei acțiuni, ridicînd pe un plan superior actul de decizie al omului.

În esență, un sistem de decizie trebuie să aibă o memorie capabilă de a înregistra rezultatele acțiunilor precedente, trebuie să poată face previziuni asupra evenimentelor viitoare, trebuie să stabilească criterii pentru aprecierea diferitelor acțiuni. Toate acestea constituie aspecte ale unei probleme de decizie, cu studiul și rezolvarea căreia se ocupă o disciplină științifică relativ recentă, numită „teoria deciziei”.

2. Ce este o problemă de decizie

Pentru a înțelege diferitele aspecte ale unei probleme de decizie să ne imaginăm interacțiunea dintre un individ și mediul ambiant în felul următor. Individul, sau sis-

temul de decizie, are de îndeplinit un scop, iar caracteristicile mediului ambiant îi sînt parțial, sau total, necunoscute. El poate efectua o serie de *acțiuni* ale căror *rezultate* sînt mai mult sau mai puțin *utile* în vederea îndeplinirii scopului.

Dacă individul ar cunoaște cu certitudine *starea* în care se va găsi mediul în momentul în care el va acționa, precum și *utilitățile* rezultatelor acțiunilor sale, problema de decizie ar fi banală (lipsită de incertitudine): individul ar alege, fără a ezita, acțiunea de utilitate maximă, pentru îndeplinirea scopului.

Teoria deciziei se ocupă tocmai de situațiile, mult mai frecvente, în care individul are o informație incompletă asupra uneia sau mai multora din datele menționate.

În principiu, individul poate fi nehotărît atît asupra scopului de îndeplinit cît și asupra acțiunilor între care are de ales, asupra stărilor posibile ale mediului, asupra rezultatelor acțiunilor și utilităților lor. O teorie completă a deciziei, care și-ar propune să formalizeze funcționarea amănunțită a unui sistem de decizie (tehnic sau biologic) ar trebui să ia în considerare toate aceste incertitudini.

Teoria actuală a deciziei consideră, pe drept cuvînt, că în cazul sistemelor biologice, unele din aceste incertitudini sînt automat îndepărtate prin experiența personală a individului, aceea a speciei sau aceea a societății și prin urmare, că individul și-a fixat scopul și cunoaște acțiunile între care are de ales, precum și rezultatul fiecărei acțiuni. Cele două mari surse de incertitudine luate în considerație, rămîn deci, *stările* mediului și *utilitățile* rezultatelor acțiunilor.

Pentru a ilustra toate acestea, să dăm un exemplu simplu de problemă de decizie. Un individ vrea să se plimbe și constată că cerul este parțial înnorat. Își va lua, sau nu, umbrela? Putem pune această problemă de decizie sub forma unui tabel. Acțiunile posibile sînt două: $a_1 = \text{își ia umbrela}$ și $a_2 = \text{nu își ia umbrela}$. Stările posibile ale mediului le considerăm — în mod simplificat — tot două: $s_1 = \text{va ploua}$, $s_2 = \text{nu va ploua}$. Rezultatele r și utilitățile lor u sînt trecute în tabelul 5.1. Astfel, r_{11} reprezintă rezultatul acțiunii a_1 în cazul că starea mediului este s_1 , iar u_{11} este utilitatea acestui re-

zultat. Desigur, scopul individului nostru în această problemă de decizie este să se simtă bine în timpul plimbării: fără obiecte inutile de transportat, dar și la adăpost de intemperii.

Tabelul 5.1

Acțiuni \ Stări	Stări	
	$s_1 = \text{va ploua}$ $p_1 = ?$	$s_2 = \text{nu va ploua}$ $p_2 = ?$
$a_1 =$ își ia umbrela	$r_{11} = \text{va fi adăpostit}$ $u_{11} = ?$	$r_{12} = \text{se încarcă inutil}$ $u_{12} = ?$
$a_2 =$ nu își ia umbrela	$r_{21} = \text{va fi udă}$ $u_{21} = ?$	$r_{22} = \text{plimbare plăcută}$ $u_{22} = ?$

Decizia pe care omul nostru o va lua depinde de probabilitățile p_1 și p_2 ale stărilor, adică de măsura în care el apreciază că va ploua sau nu, cât și de valorile utilităților celor patru rezultate posibile.

Teoria deciziei caută metodele care permit precizarea acestor două necunoscute, cât și, mai ales, criteriile sau regulile care duc la o alegere judicioasă. Ea ne arată cum să utilizăm informația de care dispunem astfel încât să luăm cea mai bună decizie posibilă, conform preferințelor noastre. Dar, întrucât acționăm în incertitudine, această teorie va fi, evident, o teorie probabilistă. Aceasta înseamnă că ea nu garantează obținerea celui mai bun rezultat; ea ne dă șansele de a-l evita pe cel mai rău.

Desigur, oamenii luau decizii cu mult înaintea existenței unei „teorii a deciziei” și fără ajutorul ei. După expresia matematicianului american Jaynes, această teorie nu face decât „să formalizeze bunul simț”.

Dar această formalizare are un triplu avantaj.

În primul rând, ne permite să ne cunoaștem mai bine, să vedem mai clar în interiorul acestei „cutii negre” care este creierul omenesc, să desprindem resorturile intime ale acțiunilor noastre. Este așa-numitul aspect *descriptiv* al teoriei.

În al doilea rând, cu ajutorul acestei teorii, învățăm a lua decizii în situațiile complexe în care „bunul simț” este insuficient. Este aspectul *normativ*.

În fine, datorită existenței acestui formalism s-au putut elabora sistemele tehnice de decizie, care, progra-

mate cu criterii de alegere, s-au dovedit capabile de a lua decizii în locul nostru.

Posibilitatea de a lua decizii este una dintre caracteristicile fundamentale ale unui sistem cibernetic. Căci dacă prin sistem cibernetic înțelegem un sistem — tehnic sau biologic — care se conduce singur în vederea îndeplinirii unui scop, atunci este evident că, lipsit de o programare anterioară, el trebuie să aleagă singur, pe baza prelucrării informației de care dispune, acțiunea capabilă să-i asigure șansele maxime în îndeplinirea scopului. În ce constă această prelucrare de informație? După cum am văzut ea se axează pe trei direcții: găsirea unei distribuții de probabilități pe stările mediului, evaluarea utilităților rezultatelor și aplicarea unui algoritm de decizie. Le vom analiza pe rând, căutând să vedem în ce măsură mașina poate efectua aceste operații.

3. Cum putem prevedea viitorul

Am văzut că, pentru a putea lua o hotărâre, trebuie să apreciem cât mai bine așa-numita „stare” a mediului înconjurător, adică condițiile în care se va desfășura acțiunea noastră. În exemplul în care individul nu știe dacă să-și ia sau nu umbrela, incertitudinea provine tocmai din cauză că stările posibile ale mediului — ploaie sau timp frumos — nu sînt cunoscute cu precizie. Desigur, omul nostru privește cerul, vede forma norilor, observă dacă este sau nu vînt, se gîndește la anotimpul în care se găsește și la vremea care a fost în ultimele zile în acea localitate. Pe baza tuturor acestor informații, disperate, incomplete și uneori chiar deformate, individul trebuie să elaboreze o distribuție de probabilități pe stările mediului, adică să prevadă timpul probabil în următoarele ore. Este clar că în final el nu va elabora chiar niște probabilități numerice, adică nu va spune: probabilitatea de a ploua este 0,25 și cea de a nu ploua, 0,75. Dar în urma unui calcul mintal, destul de obscur dealtminteri, el va putea afirma: este mult mai probabil să nu plouă. Desigur, precizia acestei afirmații lasă de dorit, dar totuși pe baza acestei constatări se alege acțiunea

utilă. Mai mult decât atât, uneori prognoza trebuie să se facă pe termen lung, avînd în vedere că majoritatea problemelor de decizie se desfășoară în etape: rezultatul unei probleme de decizie constituie un punct de plecare pentru o nouă problemă de decizie, din succesiunea căroră se obține, în final, scopul general urmărit.

Care este algoritmul urmat de mintea omenească, pentru a transforma informațiile culese din mediu în prognoze asupra acestuia — iată o problemă deschisă. Care este probabilitatea ca X să câștige meciul de tenis, ca lansarea unei rachete spre lună să reușească, ca ouăle pe care le cumpăr să fie proaspete? Probabilitățile pe care fiecare din noi le-am putea stabili asupra acestor „evenimente” au fără îndoială un pronunțat aspect subiectiv. Acesta se datorește, pe de o parte, informațiilor diferite pe care le posedă fiecare individ — și pe de altă parte, înclinărilor afective care deformează în mod involuntar, evaluarea probabilităților.

Evident, cu cît evaluarea acestora va fi mai eronată, datorită celor două motive menționate mai sus, cu atît hotărîrea pe care o vom lua va fi mai puțin judicioasă și va avea șanse mai reduse de a ne asigura succesul. De aceea problema de bază în luarea unei decizii bune este de a dispune de o cantitate cît mai mare de informație și de a minimaliza înclinările subiective. În felul acesta probabilitatea subiectivă — elaborată de individ — se apropie cît mai mult de valoarea ei reală, obiectivă. Această problemă va fi reluată, mai pe larg, în capitolul următor.

O metodă de a mări cantitatea de informație este de a executa o serie de acțiuni auxiliare, menite să dezvăluie adevărata stare a mediului. Aceste acțiuni pot fi mai mult sau mai puțin complicate și mai mult sau mai puțin costisitoare. De exemplu, stațiile meteorologice pot face experiențe pentru a determina curenții atmosferici, presiunea sau alte date ajutătoare prognozei. Un cumpărător care vrea să evalueze prospețimea unui lot de ouă ar putea încerca cîteva eșantioane: există un raport optim între numărul acestor eșantioane (deci informația ajutătoare) și costul lor.

Strategia utilizată de sistem pentru a descoperi adevărata stare a mediului este o etapă importantă într-o problemă de decizie și de care depinde în mare măsură succesul deciziei. Dar, întrucît așa cum s-a menționat, nu se cunoaște mecanismul prin care mintea omenească evaluează șansele unui eveniment (sau ale unei stări) înseamnă că nici mașina — creația noastră — nu va ști să facă acest lucru. Mașinii va trebui deci să-i indicăm noi probabilitățile stărilor posibile ale mediului, evident în cazul în care le cunoaștem.

4. Evaluarea utilităților

Desigur, pentru a putea lua o hotărîre, un om trebuie să știe în primul rînd ce vrea. Într-un limbaj mai precis aceasta revine la a spune că el trebuie să stabilească o ordine de preferință pe rezultatele acțiunilor sale. Noțiunea de „preferință” a fost formalizată pentru prima dată în „teoria jocurilor”, creație a matematicianului John von Neumann¹.

Teoria deciziei este strîns legată de teoria jocurilor. Aceasta este o ramură a matematicilor care formalizează situațiile conflictuale între doi sau mai mulți indivizi. Cuvîntul *joc* este o abstracțiune care cuprinde ansamblul de reguli după care se desfășoară conflictul. Fiecare jucător are dreptul la o *mișcare* (acțiune) conform regulilor jocului cunoscînd sau nu *mișcările* celorlalți jucători. După fiecare mișcare, el cîștigă sau pierde.

Scopul fiecărui jucător este, evident, de a-și mări cîștigul.

Prin această schemă formală, se descriu și se studiază o mare varietate de situații conflictuale de la cele mai simple la cele mai grave și complicate.

Noțiunea de *joc* poate fi extinsă la cazul în care unul din adversari este natura. În acest caz, jucătorul trebuie să ia decizii în fața unui adversar neutru, indiferent, care nu urmărește cîștigul. În această direcție s-a dezvoltat teoria modernă a deciziei și multe din conceptele

¹ J. von NEUMANN, O. MORGENSTERN, *Theory of Games and Economic Behaviour*, New York, 1947.

ei, ca, spre exemplu, conceptul de *utilitate* a fost preluat din teoria jocurilor.

În *teoria utilității* se arată că dacă rezultatele unor acțiuni îndeplinesc anumite condiții, atunci se pot atașa acestor rezultate niște valori numerice numite utilități, care reflectă preferințele individului pentru aceste rezultate.

În legătură cu utilizarea practică a noțiunii de utilitate, apar mai multe probleme.

În primul rând trebuie de menționat caracterul subiectiv al acestor utilități, fiecare individ avînd preferințele sale.

Mai mult decît atît, în cazul problemelor complexe de decizie, evaluarea utilităților (stabilirea ordinii de preferință) este uneori o problemă dificilă. Evident, nu este cazul problemelor de decizie simple ca aceea a omului cu umbrela.

Nimănui nu-i place să fie udat de ploaie sau să transporte inutil o umbrelă. De aceea ordinea de preferință a rezultatelor acțiunilor este imediată: r_{11} și r_{22} sînt rezultate preferate (în mod egal), urmează r_{12} și apoi r_{21} care este rezultatul cel mai defavorabil.

Dar sînt situații mult mai subtile, în care individul însuși nu are preferințe certe. Aceasta se datorește faptului că o aceeași acțiune poate fi apreciată din diverse puncte de vedere, iar utilitatea ei variază în funcție de criteriul ales. Această problemă va fi reluată în paragraful 6.

Astfel, utilitatea unei acțiuni care aduce un important cîștig material poate fi micșorată considerabil dacă această acțiune nu este cinstită. Preferințele individului vor depinde deci de ponderea pe care acesta o alocă celor două clase de valori în care evaluează acțiunea: clasa valorilor materiale și clasa valorilor morale. Ponderile alocate diferitelor clase de valori variază continuu în decursul vieții unui individ. Ele depind de ereditate, de educație, de mediul social, de posibilitățile proprii de prelucrare a informației. Posibilitatea de a le schimba conferă oamenilor un nesecat izvor de libertate interioară dar îngreuiază considerabil evaluarea acțiunilor, fiind în același timp cauza unor dramatice stări de incertitudine.

O altă problemă care se pune la aplicarea practică a noțiunii de utilitate în rezolvarea unei probleme de decizie este însăși valoarea ei numerică.

Desigur, teoria deciziei este formală; ea lucrează cu simboluri și nu cu cifre și furnizează regulile de alegere a acțiunilor, în ipoteza că „se poate elabora” o distribuție numerică de utilități care reflectă preferințele. Dar dacă vrem să construim sisteme tehnice care să ia decizii, această distribuție trebuie să existe realmente. Oamenii se pot lipsi de ea, căci au „preferințe” pe care le cunosc, le simt, chiar fără a le da explicit valori numerice, dar mașina nu are această posibilitate. Ei îi trebuie date concrete.

O soluție la care s-a ajuns este aceea de a încadra utilitățile într-o *scară relativă* în care nu contează valorile absolute ci numai raportul între diferențele lor. Astfel, în exemplul omului cu umbrela, utilitățile ar putea avea valorile următoare:

- într-o scară relativă, comprimată între 0 și 1:
 $u_{11} = 1$; $u_{12} = 0,5$; $u_{21} = 0$; $u_{22} = 1$;
- sau în intervalul 0—10:
 $u_{11} = 10$; $u_{12} = 5$; $u_{21} = 0$; $u_{22} = 10$;
- sau în intervalul 0—100:
 $u_{11} = 100$; $u_{12} = 50$; $u_{21} = 0$; $u_{22} = 100$.

Se observă că diferențele relative rămîn aceleași.

Nu e mai puțin adevărat că fixarea acestor valori este destul de arbitrară și de imprecisă, în special atunci cînd scopul problemei de decizie nu este caracterizat prin parametri fizici măsurabili, așa cum se întîmplă deseori în cazul acțiunilor umane. „Scopul” unui artist este să creeze o operă durabilă, a unui îndrăgostit să-și cucerească iubita, a unui om politic să convingă pe ceilalți oameni de ideile sale etc. Încă nu știm cum s-ar putea evalua numeric utilitățile acțiunilor în fiecare din aceste domenii. Dar aceasta e o problemă care nu mai aparține teoriei deciziei.

Din fericire, mașina nu are — încă — scopuri atît de complicate, astfel încît pentru ea, problema evaluării utilităților este mai simplă. Întrucît scopul îi este dat sub forma unui ansamblu de parametri, definiți numeric, ea trebuie să compare rezultatul unei acțiuni (de asemenea definit numeric) cu scopul dat, stabilind apro-

pierea, mai mare sau mai mică. În general însă, utilitățile diferitelor rezultate îi sînt date mașinii, sub formă de date inițiale.

5. Mașina ia decizii

Va putea oare mașina să facă față tuturor incertitudinilor care apar într-o problemă de decizie? Se va descurca ea singură într-o situație în care omul însuși nu știe ce să facă? Iar hotărîrea pe care o va lua va fi aceeași pe care ar fi luat-o omul? Sau, eventual, mai bună? În scurta sa existență, calculatorul a trecut și acest test, dovedindu-se capabil să rezolve probleme de decizie complicate, repede și sigur. Evident, anumite tipuri de probleme și cu anumite date inițiale. Să vedem cum stau lucrurile.

În primul rînd mașinii i se indică scopul. Aici apare prima diferență față de oameni. Aceștia au latitudinea de a-și alege ținta activității lor. Nu întotdeauna, evident. Și oamenii îndeplinesc într-o mare măsură obiective impuse, fie de relațiile cu semenii lor, fie de cerințele lor biologice. Un elev *trebuie* să învețe carte, un om *trebuie* să se ducă la serviciu, un bolnav *trebuie* să ia medicamente etc. Și fiecare din aceste corpuri generale impun o serie de acțiuni intermediare, a căror alegere determină o situație de decizie. Dar, în cazul oamenilor, există o anumită libertate în alegerea scopurilor și chiar în îndeplinirea celor obligatorii. Un om poate să-și aleagă meseria, se poate duce în vacanță la munte sau la mare etc. Aceasta este posibil tocmai datorită faptului că oamenii posedă un sistem de valori în raport cu care apreciază diferitele scopuri. Este de fapt tot o problemă de decizie, dar pe alt plan, aceea a alegerii scopurilor.

Dar o mașină — fie ea și cibernetică — nu are un sistem de valori, așa cum nici animalele nu au. Singurul criteriu de valoare al animalului este optimalizarea funcționării sale biologice. Poate cu unele excepții. Se povestește, de exemplu, de un cîine care a preferat să moară de foame de durere că și-a pierdut stăpînul. Clasele de valori au apărut mai târziu, în cursul evoluției psihice și sociale a omului și calculatorul este mult prea

tinăr și, ceea ce este mult mai important, nu are o viață socială. El trăiește izolat și conversează numai cu creatorul său, omul, și eventual cu cîțiva confrăți.

Deci omul îi comunică mașinii că are de îndeplinit un scop. De exemplu că trebuie să conducă o instalație industrială automatizată, astfel încît, produsul care se obține, să aibă niște parametri bine determinați. Scopul este deci obținerea acelui produs finit, să zicem un anumit aliaj. Pentru îndeplinirea lui, mașina poate lua o serie de măsuri pe parcursul fluxului tehnologic, poate varia încălzirea cuptoarelor, timpul de încălzire al aliajului, proporția de componente etc. Aici însă, nimeni nu îi mai spune mașinii ce să facă, pentru simplul fapt că nimeni nu știe exact acest lucru, în special dacă în timpul procesului apar și perturbații imprevizibile.

Calculatorul se găsește în situația unui inginer-șef care primește tot timpul informații asupra desfășurării procesului, știe ce produs final vrea să obțină și trebuie să decidă asupra unor comenzi cît mai bune pentru optimizarea acestui produs. Ca și acesta, mașina va proceda prin încercări. La fiecare comandă va testa calitatea produsului, comparînd-o cu aceea a produsului optim ale cărui caracteristici îi sînt înscrise în memorie. Dacă comanda dată a fost bună, el o va păstra eventual cu mici modificări pentru a încerca una și mai bună. Dacă nu s-a dovedit eficace, el o va schimba radical. În scurt timp mașina va obține produsul optim. Mult mai repede decît ar face-o inginerul șef. În primul rînd, pentru că rețeaua de informații a mașinii este mult mai operativă: aparatele cu care este ea conectată îi transmit instantaneu informații asupra tuturor punctelor-cheie ale procesului. În al doilea rînd, pentru că execuția comenzilor este relativ rapidă. În al treilea rînd pentru că între primirea informațiilor și darea comenzilor calculele sînt făcute mult mai rapid și mai sigur. Aceasta este marea calitate a mașinii: calculează repede și fără greșală. O simplă înmulțire, care unui om îi ia cîteva zeci de secunde, mașina o execută în a milioana parte dintr-o secundă. Și fără greș!

Dar situațiile în care calculatorul este pus să ia decizii pot fi atît de complexe încît omul nici n-ar fi în stare să le rezolve singur. Să ne gîndim la gestiunea

economică a unei mari întreprinderi, la planificarea pe termen lung a investițiilor, cazuri în care numărul parametrilor de care trebuie să se țină seama este uriaș.

Să vedem cum anume procedează calculatorul pentru a rezolva problema. El cunoaște deci :

— *scopul problemei de decizie*, caracterizat printr-un număr finit de parametri ;

— *acțiunile sau comenzile* posibile între care are de ales ;

— *rezultatele acțiunilor* în diferite stări ale mediului și *utilitățile* lor ;

— *informații asupra stărilor* posibile ale mediului ;

— *criteriul de decizie*.

Toate aceste date, mașina le are înregistrate în memoria sa sub forma unui tabel de utilități (tab. 5.2). În-

Tabelul 5.2

Acțiuni	Stări	$s_1 \ s_2 \ \dots \ s_j \ \dots \ s_n$				
		s_1	s_2	$\dots$	s_j	$\dots \ s_n$
a_1		u_{11}	u_{12}	$\dots$	u_{1j}	u_{1n}
a_2		u_{21}	u_{22}	$\dots$	u_{2j}	u_{2n}
$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
a_i		$\dots$	u_{ij}	$\dots$	$\dots$	$\dots$
$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
a_m		u_{m1}	u_{m2}	$\dots$	u_{mj}	u_{mn}

registrarea se face în momentul inițial sau în timp, prin culegere de informații. Pentru a calcula valorile utilităților, mașina compară rezultatul fiecărei acțiuni cu scopul final. Întrucât ambele sînt caracterizate prin parametri fizici măsurabili, diferența dintre ele poate fi ușor interpretată numeric.

Acest tabel odată cunoscut, mașina trebuie să aleagă acțiunea optimă, pe baza unui criteriu.

Tocmai aici își aduce contribuția majoră teoria deciziei, în cadrul căreia s-au elaborat așa-numitele „criterii de decizii“, reguli clare și precise pe baza cărora, orice om sau mașină poate să devină „un sistem de decizie rațional“. Aceste criterii variază după gradul de incertitu-

dine existent. Să vedem deci în ce situație se poate găsi un sistem de decizie — uman sau tehnic — din acest punct de vedere.

a) *Sistemul de decizie cunoaște adevărata stare a mediului* (sînt așa-numitele condiții de certitudine). Cazul este banal : se va alege acțiunea al cărei rezultat are o utilitate maximă pe coloana corespunzătoare stării mediului. Mai exact, să presupunem că aparatele cu care este conectat calculatorul îl informează că dintre cele n

Tabelul 5.3

$a \backslash s$	$s_1 \dots s_k \dots s_n$				
	s_1	s_2	$\dots$	s_k	$\dots \ s_n$
a_1				0,5	
a_2				0,2	
a_3				0,9	
a_4				0,3	
a_5				0,7	

Tabelul 5.4

$a \backslash s$	$s_1 \ s_2 \ \dots \ s_n$				
	p_1	p_2	$\dots$	p_n	
a_1	u_{11}	u_{12}	$\dots$	u_{1n}	
a_2	u_{21}	u_{22}	$\dots$	u_{2n}	
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	
a_m	u_{m1}	u_{m2}	$\dots$	u_{mn}	

stări posibile ale mediului starea reală în care el va acționa este starea s_k . Sistemul de decizie ia în considerare, atunci, numai coloana corespunzătoare lui s_k , din tabelul de utilități. Să presupunem că în această coloană, utilitățile au următoarele valori numerice, corespunzătoare la cinci acțiuni posibile. Evident, sistemul va alege acțiunea a_3 , care maximizează utilitatea în starea s_k (tab. 5.3).

Dar, arareori, lucrurile sînt atît de simple.

b) *Sistemul de decizie nu cunoaște sigur adevărata stare a mediului* (sînt așa-numitele condițiuni de incertitudine parțială).

În acest caz, pot fi — eventual — cunoscute probabilitățile fiecărei stări.

Rezolvarea problemei este următoarea. Se poate întocmi un tabel de forma tab. 5.4.

Regula de decizie constă în a calcula valoarea medie a utilităților unei acțiuni în diferite stări ale mediului și de a alege acțiunea avînd utilitatea medie maximă. Astfel, utilitatea medie a acțiunii a_1 este :

$$\bar{u}_1 = u_{11}p_1 + u_{12}p_2 + \dots + u_{1n}p_n.$$

Rezultă în același mod și celelalte utilități medii, $\bar{u}_2, \bar{u}_3, \dots, \bar{u}_m$. Sistemul le compară, o alege pe cea mai mare și comandă efectuarea acțiunii corespunzătoare.

Este probabil că o asemenea regulă este aplicată — intuitiv — și de oameni, în cazurile de decizie sub incertitudine. Evident, fără a calcula valori medii și chiar fără a ști măcar ce sînt acestea. Să reluăm exemplul omului cu umbrela și să presupunem că după observarea condițiilor atmosferice, omul ajunge la concluzia că șansele de ploaie și vreme bună sînt egale. El nu-și formulează matematic această concluzie, dar noi știm că aceasta înseamnă $p_1 = p_2 = 0,5$. Luînd în considerare tabelul de utilități al acestei situații, rezultă următoarele utilități medii (tab. 5.5).

Tabelul 5.5

$a \backslash s$	s		$\bar{u}$ (utilitate medie)
	$s_1 = \text{va ploua}$ $p_1 = 0,5$	$s_2 = \text{nu va ploua}$ $p_2 = 0,5$	
$a_1 = \text{își ia umbrela}$	$u_{11} = 1$	$u_{12} = 0,5$	$\bar{u}_1 = 0,5 + 0,25 = 0,75$
$a_2 = \text{nu își ia umbrela}$	$u_{21} = 0$	$u_{22} = 1$	$\bar{u}_2 = 0 + 0,5 = 0,5$

Întrucît utilitatea medie a acțiunii a_1 este mai mare, omul își va lua umbrela, chiar la șanse egale de timp frumos și urît.

Dar uneori, probabilitățile stărilor nu sînt cunoscute. Este așa-numita situație de *incertitudine totală*. Deci :

c) *Sistemul de decizie nu știe nimic despre stările mediului*. El cunoaște doar acțiunile posibile și utilitățile lor în diferitele stări ale mediului, dar n-are nici o idee despre starea reală în care va acționa. Tabelul din memoria lui este, de exemplu, cel din tab. 5.6 (luînd niște valori arbitrare pentru utilități).

Tabelul 5.6

$a \backslash s$	s		
	s_1	s_2	s_3
a_1	0,9	0,6	0,8
a_2	0,5	1	1

Calculatorul este programat să aplice așa-numitul criteriu „minimax“ care constă în a alege acțiunea care maximizează utilitatea minimă. În tabelul de mai sus se observă că acțiunea a_1 duce, în cazul cel mai defavorabil (al stării s_2) la o utilitate de 0,6, în timp ce acțiunea a_2 duce în cazul cel mai defavorabil (al stării s_1) la o utilitate de 0,5. Sistemul de decizie nu știe care va fi starea reală a mediului, dar alegînd acțiunea a_1 își asigură o utilitate minimă de 0,6 care este mai mare decît utilitatea minimă a acțiunii a_2 . Sistemul va alege deci acțiunea a_1 .

La fel va proceda și omul nostru cu umbrela în cazul în care nu cunoaște nimic despre starea vremii. El va prefera să ia umbrela, asigurîndu-se împotriva alternativei celei mai defavorabile, aceea de a fi udat în caz de ploaie. Ca un alt „domn Jourdain“ care făcea proză fără să știe, și el aplică regula „minimax“ în problemele de decizie curente, fără să o cunoască.

De fapt, criteriul „minimax“ este un criteriu pesimist care ne apără împotriva celei mai defavorabile situații care s-ar putea ivi. El este indicat în special atunci cînd avem de-a face cu un adversar activ.

Natura este însă un adversar indiferent, care nu ține să cîștige, astfel încît oamenii de multe ori preferă să

riște, adoptînd criterii mai puțin conservatoare. În teoria deciziei sînt formalizate multe alte asemenea criterii, cu care putem, bineînțeles, să programăm un sistem tehnic de decizie. Depinde de noi cît vrem să fie de prudent sau în ce măsură să se aventureze în decizii riscante. El este creația noastră și îl modelăm cum vrem.

Dar posibilitățile mașinii în luarea deciziei nu se opresc aici. Descendenții săi, mărindu-și posibilitățile de prelucrare a informației și capacitatea memoriei, vor putea să-și lărgescă contribuția la întocmirea tabelelor de utilități și probabilități, aferente fiecărei probleme de decizie.

În prezent omul formulează problema de decizie, transformînd datele vagi, disparate, incomplete pe care i le oferă universul înconjurător, într-o formă numerică asupra căreia se poate aplica un algoritm. Mașina aplică algoritmul, rezolvînd problema de decizie.

Pe viitor se prevede ca mașina să colaboreze cu omul în cît mai multe faze ale unei probleme de decizie. Iată după Edwards¹ care ar fi aceste faze și cum ar putea fi rezolvate ele în cadrul unui sistem de decizie complex, om-mașină.

Funcțiile sistemului de decizie	Efectuat de	Momentul
1. Recunoașterea existenței unei probleme de decizie	Om	Înainte de decizie
2. Identificarea acțiunilor posibile	Om	Înainte de decizie
3. Identificarea „stărilor” mediului	Om	Înainte de decizie
4. Aprecierea valorii rezultatelor față de un scop dat numeric	Om și mașină	Înainte de decizie
5. Operații ajutătoare pentru recunoașterea stărilor probabile	Om și mașină	Înainte de decizie
6. Estimarea probabilităților stărilor	Om	Înainte de decizie
7. Alegerea acțiunilor optime (aplicarea unui algoritm de decizie)	Mașina	La momentul deciziei
8. Interpretarea deciziei	Om	După decizie

¹ W. EDWARDS, *Probabilistic Information Processing by Man and Man-Machine Systems*, Symposium on Man-Machine Interaction, Paris, 1970.

Pentru a evalua probabilitatea fiecărei stări a mediului, calculatorul viitorului va face o serie de teste, o serie de încercări auxiliare menite să-i dezvăluie adevărata stare a mediului. Este o problemă de „recunoaștere a formelor” în care azi, calculatorul s-a dovedit deosebit de calificat așa cum se va arăta în capitolul 8.

Sistemele tehnice pot lua decizii și le vor lua din ce în ce mai bine, pe măsură ce posibilitățile lor logice vor crește. Ele au asupra oamenilor avantajul unui calcul rapid, sigur, și ceea ce este mai important într-o problemă de decizie, liber de orice înclinație afectivă. Căci deciziile corecte se iau în lumina rațiunii pure și nu sub influența pasiunilor care deformează judecata.

Indiferentă și rece ca și materia inertă din care este făcută, mașina alege, implacabilă, acțiunea optimă pentru îndeplinirea scopului dat, și o comunică oamenilor pentru a o folosi, în bine sau în rău. Dar, de aici înainte, rolul său încetează. Căci mașina nu poate cîntări „binele” și „răul” iar scopurile pe care le îndeplinește sînt pentru ea doar un ansamblu de relații și cifre. Oricît și-ar ascuți inteligența, mașina rămîne aservită scopului impus de om.

6. Sisteme de decizie care își pot alege scopul¹

Am văzut că, în sistemele simple de decizie, tehnice sau biologice, scopul este dat, iar sistemul trebuie să aleagă între diferite acțiuni, pentru a-și atinge scopul.

Desigur, dacă considerăm că „scopul” unui sistem biologic constă în menținerea parametrilor fiziologici la valorile optime — din punctul de vedere al individului dar și al speciei — atunci remarcăm că acțiunile sau programele necesare îndeplinirii acestui scop pot îmbrăca uneori forme foarte complicate.

Este suficient să ne gîndim la migrarea păsărilor spre țările calde, la organizarea socială a albinelor, la mecanismul complicat al fecundării peștilor, pentru a avea o idee asupra varietății și complexității „programeelor” cu care sistemele biologice și-au îmbogățit patrimoniul în cursul evoluției.

Care este marginea de libertate de care se bucură sistemele din această categorie? Ele au de ales între

¹ M. BELIȘ, Conferință ținută în cadrul UNESCO, Paris, 1972.

cîteva zeci sau sute de programe de acţiune pe care le au înregistrate în memorie. Dar, oricît de mare ar fi varietatea acestor programe, alegerea se face întotdeauna pentru a îndeplini scopul : optimizarea parametrilor funcţionali.

De exemplu, atunci cînd procentul de glucoză din sînge scade sub o anumită valoare, animalul este avertizat, prin senzaţia de foame, că trebuie să acţioneze pentru a se hrăni. În acest scop el alege programul cel mai adecvat, în funcţie de caracteristicile mediului înconjurător şi de posibilităţile sale : el va vîna, se va căţăra în copaci, va paşte etc. Există deci o alegere, dar implacabila necesitate de a optimaliza sistemul — necesitate care s-a format şi ea în cursul evoluţiei — obligă sistemul să aleagă programul cel mai adecvat îndeplinirii scopului : refacerea nivelului normal al glucozei în sînge. Acest nivel constituie o „sursă de referinţă“ internă, în raport cu care sistemul îşi evaluează acţiunile. Şi atîta timp cît sursele de referinţă sînt incluse în sistem — prin proiectare, respectiv evoluţie — libertatea acestuia constă, în cel mai bun caz, în alegerea acţiunilor care să satisfacă acestor referinţe.

Antrenîndu-se şi dezvoltîndu-se în căutarea unor astfel de acţiuni, posibilităţile cerebrale biologice au crescut suficient pentru a avea disponibilităţi. Acestea au fost orientate spre scopuri noi, lipsite de utilitate fiziologică şi care implicau deci mărimi de referinţă situate în afara sistemului.

A construi adăposturi, a conserva focul, a se apăra de duşmani, a alege un şef, a desena un animal pe pereţii unei peşteri, iată scopuri noi, lipsite de utilitate fiziologică imediată, pentru îndeplinirea cărora oamenii au trebuit să găsească noi referinţe, mai mult sau mai puţin arbitrare.

Dar dacă aceste scopuri nu au o utilitate funcţională imediată, dată de criterii fiziologice, direct accesibile individului, atunci după ce criterii vor putea fi ele evaluate ? Vor trebui create normele în virtutea cărora să se poată evalua acţiunile umane, adică vor trebui create *clasele de valori*.

Existenţa mai multor clase de valori conferă oamenilor un izvor considerabil de libertate. Această libertate se

manifestă pe două planuri diferite : pe plan social prin posibilitatea schimbării sistemului de valori şi pe plan individual prin posibilitatea aprecierii unei acţiuni din diferite puncte de vedere.

Să vedem mai îndeaproape cum stau lucrurile.

Activităţile oamenilor s-au împărţit progresiv în cîteva direcţii principale, cum ar fi, cunoaşterea mediului înconjurător şi a propriei lor fiinţe, utilizarea obiectelor şi fenomenelor înconjurătoare, organizarea vieţii în societate ş.a.m.d.

Dezvoltîndu-se şi îmbogăţindu-se în decursul vieţii sociale a generaţiilor succesive, aceste preocupări au dus la formarea de domenii de activitate specifice, ca cercetarea ştiinţifică, activităţile tehnico-industriale, activitatea politică şi socială, creaţia artistică etc.

Problema care se pune este de a găsi normele sau criteriile de referinţă în raport cu care să se poată evalua acţiunile din fiecare din aceste domenii.

Cît de departe sîntem de simplitatea şi precizia mecanismului referenţial — intern — din cadrul domeniului funcţional, biologic. În aceste noi domenii, criteriile de referinţă sînt mult mai relative şi marea diversitate de sisteme etice, estetice, politice şi sociale care au luat naştere în decursul vremurilor, este o mărturie a dificultăţii de a găsi norme universal acceptate. Căci fiecare epocă şi clasă socială admite un alt sistem de valori. „Ce e rău şi ce e bine, tu te-ntreabă şi socoate“ a spus poetul, subliniind astfel, caracterul relativ al noţiunilor de „bine“ şi de „rău“.

Desigur, într-o anumită perioadă de timp şi într-un anumit stadiu de dezvoltare economică, socială, tehnică şi artistică, criteriile de referinţă în fiecare din aceste domenii au o anumită stabilitate. Tocmai această stabilitate — temporară — face ca omul mediu să poată să se organizeze, să ia decizii coerente, să creeze. Omul mediu are nevoie de referinţe stabile, de puncte de sprijin solide. El nu se simte în siguranţă într-un univers mişcător, în care adevărurile şi părerile se schimbă de azi pe mâine.

Aceasta explică, de altminteri, balastul uriaş de moravuri, obiceiuri, precepte, legi, care se transmit din gene-

rație în generație, subjugându-le și disciplinându-le în același timp. Căci o societate pentru a dura și a progresa are nevoie de disciplină și aceasta nu se poate obține decât dacă toți membrii ei au repere și scopuri comune.

Oamenii au, totuși, posibilitatea de a schimba criteriile de referință ale diferitelor clase de valori, în pas cu cerințele dezvoltării lor materiale și spirituale. Mutația valorilor este un proces complex, dificil, care întâmpină rezistența formelor vechi, împietrite în conștiința oamenilor și în practica vieții de zi cu zi. Acest proces face apel la forțe sociale considerabile sau la personalități puternice. Dar, cu toate aceste greutăți, se constată totuși, că de-a lungul generațiilor are loc o evoluție a normelor sau criteriilor de valoare care guvernează acțiunile umane.

Această evoluție se efectuează, pare-se, în direcția care acordă oamenilor — ca indivizi și colectivități — din ce în ce mai multă libertate ;

— libertatea cunoașterii, de exemplu, care a făcut să cadă barierele agnostice ale Evului Mediu, furnizând omului o viziune realistă asupra lui și a universului înconjurător ;

— libertatea maselor din ce în ce mai largi, cerind mijloace de trai și drepturi ;

— libertatea creației artistice, care se degajează de constrîngerile formale pentru a scoate la iveală personalitatea artistului.

Aceste libertăți se cuceresc încetul cu încetul, prin efortul generațiilor succesive. Omul mediu se bucură de ele, mai mult sau mai puțin, în funcție de momentul istoric în care trăiește. El trebuie să se conformeze normelor existente, pe care le poate aproba sau nu, dar pe care nu are puterea de a le schimba singur. Dar, în cadrul acestor norme, înțelese ca necesitate obiectivă, omul dispune de o libertate relativă de decizie.

Chiar dacă omul mediu nu are posibilitatea de a schimba singur criteriile de referință, îi rămîne și lui totuși o sursă de libertate, menționată mai sus, și anume, aceea de a alege între diversele clase de valori existente, sau, altfel spus, de a stabili o ordine de preferință asupra claselor de valori.

Într-adevăr, rezultatul unei acțiuni poate fi apreciat din diverse puncte de vedere.

Albert Schweitzer a preferat unei vieți ușoare și civilizate — considerată de către mulți oameni ca stare optimă — asperitățile vieții în Africa Centrală unde a construit și condus o clinică chirurgicală.

Gauguin și-a abandonat familia (acțiune cu valoare etică foarte redusă), pentru a se consacra creației artistice căreia i-a acordat o pondere valorică mai mare.

Sînt și cazuri — extreme — în care individul neglijează complet clasa valorilor funcționale, în favoarea unor alte clase de valori. Este cazul celor care preferă să moară pentru anumite idealuri.

Fiecare individ își determină starea optimă corespunzătoare clasei de valori preferate și, în funcție de aceasta, își organizează acțiunile.

O analiză mai amănunțită ne arată totuși că omul evaluează arareori acțiunile sale în raport cu o singură clasă de valori ; în general, valoarea unei acțiuni se obține făcînd suma ponderată a valorilor pe care le are în diversele clase de valori. Mai exact, dacă se notează cu $u_{i1}, u_{i2} \dots u_{in}$ utilitățile rezultatului r_i în diversele clase de valori 1, 2 ... n, atunci utilitatea globală a rezultatului r_i este :

$$u_i = \frac{k_1 u_{i1} + k_2 u_{i2} + \dots + k_n u_{in}}{n},$$

în care $k_1, k_2 \dots k_n$ sînt coeficienții de pondere pe care individul îi alocă diverselor clase de valori, conform cu importanța pe care acestea o au pentru el. Dacă considerăm că $0 \leq k \leq 1$, atunci valoarea $k = 0$ corespunde unei clase fără importanță, iar $k = 1$ corespunde unei clase de importanță maximă.

Acești coeficienți definesc personalitatea individului. Dacă el ar cunoaște cu precizie valorile lor, atunci el ar putea calcula suma ponderată de mai sus și ar alege apoi acțiunea corespunzătoare. Dar, în general, individul nu cunoaște valorile acestor coeficienți (nu are preferințe certe pentru unele clase de valori) și în plus, aceste valori se schimbă în cursul vieții sale.

Stabilirea unei ierarhii proprii asupra claselor de valori este un proces complex în care ereditatea și edu-

cația joacă un rol însemnat. Dar, pe măsură ce capacitatea de prelucrare a informației crește, individul devine în măsură să schimbe singur aceste valori.

Aceasta implică în primul rînd cunoașterea propriei sale personalități, ceea ce nu e posibil întotdeauna numai pe bază de introspecție. Uneori, acțiunea spontană dezvăluie adevărata personalitate.

Aceasta implică apoi, posibilitatea de a face o judecată de valoare asupra claselor de valori înseși, pentru a le ordona după importanța lor.

Posibilitatea de a depăși constrîngerile impuse de ereditate și educație pentru a-și construi o ierarhie proprie a claselor de valori constituie sursa de libertate de decizie a individului, menționată mai sus.

Această privire rapidă aruncată asupra diverselor etape prin care au trecut sistemele de decizie ne arată că, în cursul evoluției lor, sistemele biologice au cîștigat în permanență grade de libertate.

Începînd cu sistemele biologice primitive a căror comportare rigidă le face asemenea automatelor tehnice, trecînd apoi la sistemele biologice mai evoluate care dispun de o varietate de programe, dar rămîn totuși aservite scopurilor fiziologice și ajungînd apoi la specia umană, cea mai evoluată, care creînd și alte valori decît cele strict biologice și-a lărgit considerabil sfera de decizie, se constată că evoluția a creat sisteme de decizie din ce în ce mai „libere“.

Această libertate este însă condiționată și întregită de doi factori care au evoluat în paralel.

Este condiționată de înțelegerea din ce în ce mai adîncă a necesităților obiective, social-istorice, care determină limitele între care se poate exercita libertatea individului.

Este întregită de creșterea progresivă a responsabilității individului față de consecințele actelor sale, pe care le poate prevedea și evalua.

Libertatea sistemelor de decizie evoluate nu provine din ignoranță sau dintr-o inspirație aleatorie. Ea este o libertate coordonată de un bloc logic cu posibilități ridicate de prelucrare a informației, ceea ce permite individului să-și urmărească starea optimală, în concordanță cu cea a semenilor săi.

CAPITOLUL VI

Mecanismul previziunii

„...într-o zi, gîndirea statistică va fi la fel de necesară oricărui cetățean folositor societății, ca și scrisul sau cititul.“

H. G. WELLS

1. Întimplare și necesitate

Din cele mai vechi timpuri omul a fost preocupat de descoperirea legăturii dintre obiectele și fenomenele înconjurătoare, de ordonarea acestor legături și cuprinderea lor în legi din ce în ce mai generale. Aceasta i-a permis nu numai explicarea diverselor fenomene, dar — ceea ce este mai important din punctul de vedere al acțiunii sale asupra mediului — a dat posibilitatea prevederii desfășurării lor în timp. Căci, spre deosebire de celelalte viețuitoare, omul elaborează scheme de acțiune cu repercusiuni îndepărtate, anticipează rezultatele acțiunilor sale, își proiectează existența în viitor.

În necunoașterea adevăratelor relații cauzale care determină desfășurarea evenimentelor, oamenii s-au străduit să facă pronosticuri folosind intuiția și... imaginația. Oracolele antichității, magiile evului mediu, astrologia ajunsă pînă în zilele noastre toate reprezintă mărturii ale dorinței permanente a omului de a risipi tenebrele viitorului. Dar aceste tenebre nu puteau fi risipite, atîta timp cît nu se cunoșteau interconexiunile reale ale fenomenelor.

Dintre multiplele forme prin care se manifestă interconexiunea obiectelor și fenomenelor, conexiunea cauzală ocupă un loc important. Pentru a se ridica de la simpla

asociere a două fenomene la determinarea dependenței lor cauzale, observatorul trebuie să pătrundă în structura intimă a fenomenului, să analizeze mecanismul producerii lui. Sarcina aceasta este considerabil îngreuiată de fenomene ce acționează simultan și a căror natură, intensitate sau constantă de timp se află uneori în afara domeniului de lucru al traductoarelor (naturale sau artificiale) cu care este echipat observatorul. Prin prelucrarea datelor experimentale, deseori incomplete, cu ajutorul inducției, analogiei și al altor metode observatorul reușește să reflecte — din ce în ce mai corect — conexiunea cauzală a diverselor fenomene și să o verifice în practică.

Din observarea diferitelor tipuri de conexiuni cauzale a reieșit caracterul necesar al unora dintre ele și caracterul întâmplător al altora. Necesitatea ține de esența fenomenului, de însușirile lui interne; ea reflectă aspectele legice, tendințele fundamentale ale procesului. Spre deosebire de necesitate, întâmplarea nu decurge din natura fenomenului respectiv ci din condițiile și împrejurările exterioare; ea este instabilă, temporară și desemnează însușiri neesențiale, individuale, netipice. În procesul dezvoltării fenomenelor, necesitatea și întâmplarea formează o unitate dialectică: necesitatea ca tendință dominantă își croiește drum prin mulțimea întâmplărilor.

În structurile cauzale ale diferitelor fenomene, raportul dintre necesitate și întâmplare este variabil. Unele fenomene se caracterizează printr-un grup stabil de cauze și condiții care determină cu necesitate efectul, acțiunea lor fiind slab afectată (sau deloc) de fenomene perturbatoare, accidentale. Altele, dimpotrivă, prezintă un caracter de instabilitate, acțiunile diferitelor cauze necesare fiind realizate sau anihilate datorită unor foarte mici influențe perturbatoare. Din prima categorie fac parte fenomenele fizice deterministe, descrise de legitățile dinamice iar din a doua cele descrise de legitățile statistice. Trecerea de la determinist la statistic înseamnă accentuarea rolului fenomenelor perturbatoare, întâmplătoare, în realizarea fenomenului legic, necesar. La limită, cauzele necesare, stabile, pot dispărea cu totul și fenomenul cauzal poate fi pur întâmplător, nefiind descris de nici un fel de legitate.

Trebuie să observăm că odată cu accentuarea rolului întâmplării în dezvoltarea unui fenomen (și implicit scăderea caracterului său necesar) scade și posibilitatea previziunii sale: fenomenele descrise de legi dinamice pot fi prevăzute individual și în desfășurarea de durată, cele descrise de legi statistice pot fi prevăzute doar în medie iar cele pur întâmplătoare deloc.

Așa cum s-a arătat în capitolul precedent, problema previziunii fenomenelor ocupă un loc central în teoria deciziei. Pentru a putea alege acțiunea utilă, omul trebuie să prevadă starea mediului în momentul în care va acționa. Din punct de vedere matematic, aceasta revine la a găsi o distribuție de probabilități pe stările posibile ale mediului.

Elaborarea conceptului de probabilitate a însemnat un salt calitativ important în gândirea omenească. Prin aceasta s-a putut da o măsură numerică șanselor de realizare a unor evenimente incerte, șanse care înainte puteau fi apreciate doar calitativ.

2. Nașterea și dezvoltarea conceptului de probabilitate

Elaborarea legilor deterministe sau dinamice a fost ușurată de „reproductibilitatea” conexiunilor cauză-efect ale fenomenelor respective, în condiții identice. Observarea unui mare număr de asemenea fenomene, măsurarea și uneori chiar reproducerea lor a scos la iveală caracterul necesar al acestor conexiuni care au putut fi exprimate apoi sub formă simbolică, calitativ și cantitativ.

Astfel, de exemplu, acțiunea unei forțe F asupra unui corp de masă m îi imprimă acestuia o accelerație a . Prin experimentarea, de un mare număr de ori a acestei relații cauzale, s-a constatat că, indiferent de valoarea care se dă mărimilor respective, ele se află în aceeași relație: $F = m \cdot a$. Aceasta constituie una din legile (deterministe sau dinamice) ale mecanicii clasice. Cunoscându-se forța F , se poate prevedea cu precizie valoarea accelerației corpului de masă m .

Elaborarea legilor statistice a fost mult mai dificilă și s-a făcut mult mai tirziu, datorită unei aparențe de dezordine sau de lipsă de legitate care se manifestă în cadrul fenomenelor de acest tip. Realizarea conexiunii necesare cauză-efect depinde, în acest caz, de unul sau mai multe fenomene întâmplătoare și care în majoritatea cazurilor nici nu sînt observabile, ținînd seama de performanțele organelor de simț și ale aparatelor de care dispunem. Acest ultim aspect al problemei a ridicat chiar întrebarea dacă nu cumva fenomenul aleatoriu apare ca atare datorită ignoranței noastre sau mai exact, datorită imposibilității de a măsura anumite fenomene. „Toate evenimentele — scria Laplace¹ — acelea chiar care prin micimea lor par a nu ține de marile legi ale naturii, sînt o urmare tot atît de necesară a acestora, ca și revoluțiile soarelui. Datorită necunoașterii legăturilor care le unesc cu întregul sistem al universului, ele au fost făcute să depindă de cauzele finale sau de hazard, după cum ele apăreau și se succedau cu regularitate sau fără ordine aparentă; dar aceste cauze imagine au fost succesiv îndepărtate odată cu limitele cunoștințelor noastre și dispăreau cu desăvîrșire în fața filozofiei sănătoase, care nu vede în ele decît expresia ignoranței în care ne aflăm asupra adevăratelor cauze“. Dar Poincaré² se îndoiește — intuitiv — de acest lucru: „Hazardul este doar măsura ignoranței noastre? Fenomenele aleatorii sînt, prin definiție, acelea ale căror legi ne sînt necunoscute. Este această definiție foarte satisfăcătoare? Cînd primii păstori caldeeni urmăreau mișcarea stelelor, ei nu cunoșteau încă legile astronomiei, dar le-ar fi trecut oare prin minte să spună că stelele se mișcă din întîmplare? Dacă un fizician modern studiază un fenomen nou și dacă îi descoperă legea marți, ar spune el, luni, că fenomenul este întîmplător?“

Există deci fenomene a căror dependență cauză-efect nu ne este cunoscută, dar care se comportă în mod determinist, independent de observator, și altele, cum ar fi aruncarea cu banul, care prin însăși natura lor, nu prezintă aceeași stabilitate, aceeași reproductibilitate.

¹ P. S. LAPLACE, *Essai philosophique sur les probabilités*, Paris, 1921.

² H. POINCARÉ, *Calcul des probabilités*, Paris, 1930.

Astfel, în cazul aruncării cu banul, nu se poate prevedea în mod cert, care față va cade. Mici variații ale vitezei și poziției inițiale de aruncare influențează în mod imprevizibil starea finală. Fenomenul nu mai poate fi descris printr-o lege deterministă.

O observare mai îndelungată a fenomenelor de acest tip a scos însă la iveală o anumită regularitate de manifestare, ceea ce a generat ideea unei legități, ascunse sub aparenta dezordine a rezultatelor consecutive unei aceleiași experiențe.

Dacă, în exemplul de mai sus (aruncarea cu banul), se repetă experiența de un mare număr de ori, se constată că numărul de apariții a „stemei“ este foarte apropiat de cel al apariției „banului“. Cu cît numărul de aruncări este mai mare cu atît frecvențele de apariție a celor două fețe sînt mai apropiate, scoțînd deci în evidență o anumită legitate. Această legitate, de tip statistic, se aplică acelor fenomene care conțin un grup de cauze și condiții stabile și necesare, care, în ciuda factorilor întîmplători prin care se realizează, își fac simțită totuși, în timp, acțiunea. Legitatea statistică este expresia acestei acțiuni. Ea se manifestă în cazurile în care:

— cauze stabile acționează în condiții inițiale întîmplătoare;

— în timpul desfășurării procesului cauzal (necesar) apar fenomene întîmplătoare care îl perturbă;

— două sau mai multe procese cauzale (necesare) interferează în mod întîmplător;

— mai multe din aceste situații au loc simultan.

În toate aceste cazuri, în desfășurarea repetată a fenomenelor se observă o regularitate de manifestare numită *regularitate statistică*, cu studiul căreia se ocupă calculul probabilităților. Izvorit acum trei sute de ani în legătură cu jocurile de noroc (tipul clasic de fenomen întîmplător cu regularități statistice), calculul probabilităților s-a dezvoltat pe mai multe linii, conducînd la diferite definiții și metode de măsură a probabilității. Le vom enumera succint, arătînd obiecțiunile care s-au adus fiecăreia din ele:

— conform definiției „clasice“ dată de creatorii calculului probabilităților în secolele 17—19 (matematicienii P. Fermat, B. Pascal, P. S. Laplace și J. Bernoulli), pro-

babilitatea unui eveniment este dată de raportul dintre numărul cazurilor favorabile și numărul cazurilor posibile, considerate ca egal posibile. Astfel, dacă un experiment E se poate realiza în m moduri egal posibile, iar dintre acestea, n cazuri reprezintă un anumit eveniment A , iar $m-n$ cazuri nu-l reprezintă atunci, conform acestei definiții, probabilitatea evenimentului A este: $p(A) = n/m$. În mod concret, dacă experimentul E este aruncarea cu zarul, există $m = 6$ rezultate egal posibile. Dacă evenimentul A (rezultatul favorabil) este apariția oricăreia din fețe $p(A) = 1/6$; dacă A este apariția unui număr par, întrucât $n = 3$, avem $p(A) = 3/6$;

— conform teoriei „frecvențelor” (von Mises, Venn) probabilitatea unui eveniment este definită ca limita raportului dintre numărul de rezultate favorabile și numărul total de rezultate obținute prin realizarea practică a unui experiment de un mare număr de ori și în aceleași condiții. Denumind acest raport ca „frecvență” f_N de apariție a evenimentului A într-o succesiune de N probe, probabilitatea evenimentului A este, conform acestei definiții:

$$p(A) = \lim_{N \rightarrow \infty} f_N$$

— conform prezentării axiomatice a calculului probabilităților (A. N. Kolmogorov), probabilitatea este o funcție care asociază fiecărui eveniment $A, B, \dots$ aparținând unui câmp finit de evenimente, un număr real $p(A)$ ce satisface anumite axiome;

— conform teoriei probabilității subiective sau personale, (B. de Finetti, E. Borel, J. M. Keynes, L. Savage, O. Onicescu) probabilitatea este o măsură numerică pe care fiecare individ o atașează realizării unui eveniment (repetabil sau nu) conform informației de care dispune și părerii sale personale. Astfel, în accepțiunea lui Keynes, probabilitatea pe care un individ o atașează unui eveniment A în prezența unui corp de cunoștințe K , este $P(A, K)$ și diferă de probabilitatea $P(A, K')$ a aceluiași eveniment în prezența altui corp de cunoștințe, K' . Mai recent, Savage fundamentează conceptul de probabilitate subiectivă pe baza unor axiome ce leagă teoria lui Bruno de Finetti cu teoria deciziei și a utilității a lui John von Neumann.

Din această rapidă enumerare a diferitelor definiții date noțiunii de probabilitate, rezultă în primul rând caracterul disparat al diverselor puncte de vedere, mărturie a dificultăților legate de formalizarea unui concept atât de subtil și, în al doilea rând, după cum se va arăta mai jos, insuficiența acestor puncte de vedere față de cerințele ridicate de dezvoltarea actualei teorii a deciziei.

Principalul neajuns al definiției „clasice” este că se referă numai la cazul particular al evenimentelor „egal posibile”. Lucrul acesta a fost scos în evidență de către însăși creatorii acestei teorii. Astfel Laplace în cel de al doilea „principiu general al calculului probabilităților” scrie: „...dar aceasta presupune diferitele cazuri egal posibile. Dacă nu sînt, se vor determina mai întîi posibilitățile lor respective, a căror justă apreciere este unul din punctele cele mai delicate ale teoriei hazardului. Atunci probabilitatea va fi suma posibilităților fiecărui caz favorabil”. Dar Laplace nu spune cum se pot calcula aceste „posibilități” și chestiunea rămîne deschisă.

Un alt neajuns al interpretării clasice a probabilității este reliefat de Hincin¹: „...această teorie nu conține nici un fel de puncte care să ducă de la calculele teoretice la statistica reală a evenimentelor și nici nu o poate crea prin mijloacele ei proprii. Toate legăturile imaginare cu realitatea, care se presupune a fi stabilite de teorema lui Bernoulli, sînt bazate pe neînțelegere ... O definiție în care nu se spune nici un cuvînt despre comportarea reală a fenomenului nu poate desigur să ne dea vreun fel de prognoză asupra acestei comportări și asupra rezultatului ei, oricare ar fi calculele pe care le-am face pe baza acestei definiții”.

Într-adevăr, faptul că probabilitatea de apariție a uneia din fețele unui zar „regulat” este, conform definiției clasice, egală cu $1/6$, nu ne explică deloc de ce, într-un lung șir de aruncări, frecvența de apariție a acestei fețe va fi foarte apropiată de $1/6$. Legea numerelor mari a lui Bernoulli oferă o demonstrație pur teoretică a aces-

¹ A. I. HINCIN, *Metoda funcțiilor arbitrare și lupta împotriva idealismului în teoria probabilităților*, Analele Româno-Sovietice, seria matematică-fizică nr. 2, 1953.

tei constatări, fără a lămuri însă esența sa fenomenologică.

Ca o replică dată acestor neajunsuri ale teoriei clasice, teoria frecvențială se bazează direct pe experiență: dacă de exemplu, constatăm că după un lung șir de aruncări, frecvența de apariție a feței unui zar tinde către un anumit număr p , atunci putem afirma că probabilitatea acestui eveniment există și este egală cu p . De data aceasta, după cum se vede, nu se mai impune nici o restricție privind „regularitatea” zarului, posibilitățile de apariție ale diferitelor evenimente putând fi oarecare.

În afară de obiecțiunile de ordin matematic care s-au adus acestei definiții și care se referă la definirea riguroasă a limitei unor frecvențe experimentale, acest mod de a aborda studiul probabilității are și el o serie de neajunsuri. Unul din acestea este chiar de natură experimentală și constă în imposibilitatea de repetare a experienței de un *mare* număr de ori și *exact* în aceleași condiții. Aceasta duce deseori la imposibilitatea aplicării acestei metode de măsură a probabilității. În ceea ce privește aspectul gnoseologic al acestei definiții, și aici, ca și în definiția precedentă, există deficiențe serioase. Ea nu explică în ce constă cauza stabilității frecvențelor, de ce limitele frecvențelor capătă anumite valori bine definite, care sînt proprietățile obiective ale fenomenului probabilistic.

Ambele definiții, atît cea clasică, cît și cea frecvențială, oferă două metode de evaluare numerică a probabilităților unor evenimente; prima metodă permite evaluarea probabilității înaintea efectuării experienței, dar într-un caz cu totul particular, cea de-a doua, după efectuarea de multe ori a experienței. Nici una din aceste teorii nu precizează însă care sînt caracteristicile clasei de fenomene de care se ocupă ele. „Ce trăsături trebuie să aibă fenomenul din natură (sau procesul tehnic) pentru ca frecvențele evenimentelor legate de el să fie stabile?” — se întreabă Hincin. „Cum s-ar fi putut determina pe cale teoretică, fără a efectua experiența pe baza legilor care guvernează fenomenul însuși, dacă acest fenomen aparține sau nu clasei de fenomene cu frecvențe stabile? Răspunsurile la aceste întrebări au o importanță fundamentală pentru dezvoltarea corectă din

punctul de vedere metodologic al concepțiilor teoriei probabilităților”¹.

Evident, nu aceste probleme formează obiectul teoriei matematice a probabilităților. Ca orice teorie matematică, ea constituie un corp coerent de deducții logice, bazate pe un set de axiome inițiale. Axiomatica lui Kolmogorov reflectă legile fundamentale ale fenomenelor statistice de masă, rezultate din experiență, și de aceea rezultatele matematice obținute în cadrul acestei teorii își găsesc nenumărate aplicații în științele naturii. Fiind o disciplină formală ea nu se ocupă cu modul de evaluare numerică a probabilității și nici cu explicarea fenomenului probabilistic.

Un punct de vedere complet diferit de cele precedente îl aduce teoria probabilității subiective. Ea privește probabilitatea nu ca o caracteristică obiectivă a unor fenomene, ci ca o măsură a reflectării acestor caracteristici de către un observator. Pornind de la ideea că orice om posedă un mecanism (dealtminteri necunoscut) pe baza căruia el poate evalua probabilitatea realizării unui eveniment incert, probabiliștii subiectivi au scos în evidență faptul că probabilitatea astfel calculată depinde de cantitatea de informație de care dispune observatorul și de caracteristicile sale proprii, avînd astfel un puternic caracter personal. Avantajul acestui mod de a privi lucrurile este că el permite abordarea conceptului de „probabilitate a unui eveniment izolat”, pe care nici una din teoriile precedente nu îl admit, considerînd de la bun început probabilitatea ca fiind o noțiune legată de fenomenele de masă. Ori, teoria deciziei ridică cu stringență, după cum se va vedea mai jos, problema definirii și mai ales a evaluării probabilității evenimentului izolat. Dar teoria subiectivă nu ne spune cum se poate face acest lucru în mod practic. În plus, în fundamentarea pe care Savage o dă teoriei subiective el condiționează mult prea puternic evaluarea acestei probabilități de caracteristicile personale ale observatorului (afective, psihice) și nu numai de informația pe care aceștia o posedă. Aceasta i-a atras pe drept cuvînt critici serioase din partea probabiliștilor „obiectivi”, și chiar a celor inova-

¹ Op. cit.

tori. Astfel E. T. Jaynes scrie : „Desigur, cea mai elementară cerință de consistență ar fi ca două persoane avînd aceeași informație apriorică, pertinentă, să atribuie aceleași probabilități apriorice. Doctrina personalistică nu încearcă să îndeplinească această cerință... ba dimpotrivă susține că ea poate fi încălcată... obiectivitatea cere ca o analiză statistică să facă uz nu de opiniile personale ale cuiva ci mai degrabă de datele specifice pe care se bazează aceste opinii”¹.

Din cele de mai sus se observă că în legătură cu clasa fenomenelor statistice se ridică două mari probleme.

Prima problemă este legată de însăși esența conceptului de legitate statistică pe care nici una din definițiile menționate nu o lămuresc. Care sînt caracteristicile fenomenelor statistice ? Faptul că în cadrul acestor fenomene se observă o stabilitate a frecvențelor este desigur, doar o consecință a acestor caracteristici.

A doua problemă este legată de metoda practică de evaluare a probabilității. Această evaluare trebuie să fie posibilă *aprioric* (adică înaintea efectuării experienței) și în cazul general al evenimentelor *inegal possible*. Este de dorit ca metoda de evaluare să se poată aplica atît fenomenelor *repetabile* cît și celor izolate. Ea trebuie să se bazeze pe informația de care se dispune asupra fenomenelor respective, tinzînd către o valoare obiectivă în cazul informației complete.

Odată cu dezvoltarea teoriei deciziei, neajunsurile menționate în definirea și mai ales în evaluarea probabilității au ieșit și mai mult în evidență, deoarece pentru a formaliza comportarea individului în condiții de incertitudine, trebuie să se ia în considerare o distribuție de probabilități pe stările mediului, distribuție ce rezultă pe baza informației de care dispune sistemul de decizie. Complexitatea situațiilor practice în care simpla intuiție se dovedește insuficientă, precum și necesitatea de a transfera luarea deciziilor unor sisteme tehnice, a făcut ca, în ultimii zece ani, dezvoltarea teoriei deciziei să pună în discuție definiția și modul de evaluare a probabilității.

¹ E. T. JAYNES, *Prior Probabilities* în „IEEE Trans. on System Sciences and Cybernetics”, nr. 3, vol. 4, 1968.

3. Informație, probabilitate, decizie

Din considerentele expuse în capitolul precedent rezultă că o decizie va fi cu atît mai apropiată de cea optimală, cu cît sistemul de decizie este mai bine informat asupra stării mediului în care acționează. Lăsînd la o parte cazurile extreme, ale informației complete sau ale informației nule, marea majoritate a situațiilor de decizie au loc în condițiile unei informații incomplete (parțiale) asupra stării mediului înconjurător. Pentru a putea utiliza această informație, sistemul trebuie să o transforme într-o distribuție de probabilități, urmînd ca apoi să aplice un criteriu de decizie (de exemplu cel al maximalizării utilității medii). Aceste probabilități trebuie evaluate înaintea alegerii unei acțiuni deci „aprioric” față de experiența de decizie respectivă. De menționat că această experiență duce deseori la dezvoltarea adevăratei stări a mediului dar, întrucît decizia a fost luată, aceasta nu mai servește cu nimic sistemului respectiv.

Evaluarea probabilităților apriorice se efectuează pe baza informației de care dispune sistemul. Cu alte cuvinte, sistemul trebuie să transforme datele asupra mediului înconjurător (disparate și incomplete) într-o distribuție numerică de probabilități asupra stării lor. Această măsură a probabilității are un caracter subiectiv întrucît informația ce se utilizează diferă de la individ la individ, dar ea trebuie să aibă și un caracter obiectiv, în sensul că, două sisteme ce dispun de aceeași cantitate de informație trebuie să calculeze aceeași valoare a probabilității.

Legătura dintre informație și probabilitate a fost pusă în evidență, în teoria comunicațiilor, de către Shannon, care a exprimat incertitudinea medie H (sau informația echivalentă) conținută într-o experiență, cu ajutorul probabilităților rezultatelor acestei experiențe. Alți autori au căutat dimpotrivă să exprime probabilitatea în funcție de informație¹. Probabilitatea a fost considerată

¹ K. de FERIET, B. FORTE, *Information et probabilité* — C.R. Académie des Sciences, Paris 1967 (nr. 265, séries A et B).

deci, uneori o noțiune primară, alteori o noțiune derivată din aceea de informație.

Teoria deciziei cere însă o metodă practică de evaluare a probabilităților. Nici una din teoriile menționate la începutul acestui capitol nu pot fi utilizate, deoarece după cum s-a arătat, trebuie de luat în considerare și cazul evenimentelor inegal posibile (ceea ce exclude metoda „clasică”), precum și acela al unor evenimente nerepetabile (ceea ce exclude metoda „frecvențială”). Valoarea probabilității trebuie să rezulte pe baza informației existente și să poată fi corectată prin achiziționarea de noi informații obținute prin experiențe ajutătoare. O metodă care îndeplinește în mare măsură aceste deziderate este „principiul entropiei maxime” a statisticianului american E. T. Jaynes ¹.

Această metodă revine la a alocă diverselor rezultate ale unei experiențe, acele probabilități care fac maximă entropia (nedeterminarea) experienței, ținând seama de constrîngerile impuse acestor evenimente. Dacă nu există constrîngeri, distribuția care maximizează valoarea entropiei este aceea a probabilităților egale. Într-adevăr, în absența oricărei informații asupra evenimentelor respective, această distribuție apare a fi cea mai indicată, căci ea nu presupune nici o diferență între posibilitățile de realizare ale diverselor evenimente. Orice informație, impunînd o constrîngere acestor evenimente, va micșora incertitudinea conținută în experiență, conducînd la probabilități înegale. Este însă necesar ca aceste constrîngeri să aibă o expresie matematică (medii statistice, dispersii etc.) sau, mai exact, folosind expresia lui Jaynes, trebuie ca informația respectivă să fie „testabilă”. Desigur, aceasta constituie o limitare a metodei lui Jaynes după cum o remarcă însuși autorul: „Poate în viitor, alții vor descoperi noi principii cu ajutorul cărora informația apriorică netestabilă să poată fi utilizată într-o teorie matematică a inferenței. Pentru moment ne limităm la căutarea principiilor formale prin care informația testa-

bilă să poată fi transformată într-o distribuție unică de probabilități apriorice” ¹.

Într-adevăr, într-o mare parte din situațiile reale, informația de care se dispune nu este testabilă, în sensul lui Jaynes. În problemele de decizie ale vieții curente și altele, informația apriori de care se dispune asupra stărilor mediului este prea vagă pentru a putea fi pusă sub o formă matematică, ceea ce face imposibilă utilizarea principiului entropiei maxime.

În viața de toate zilele, totuși, omul este capabil să evalueze probabilitatea unui eveniment, înaintea realizării sale, utilizînd informația de care dispune în această privință. Algoritmul utilizat în acest scop este destul de obscur, dar se constată că justetea evaluării depinde de cantitatea de informație de care dispune individul, precum și de influența cît mai redusă a înclinațiilor sale personale, afective. La o analiză mai atentă se observă că informația pe care el o utilizează este legată de cauzele susceptibile de a produce evenimentul considerat, de condițiile favorabile sau defavorabile îndeplinirii sale, de evenimentele corelate. În cele ce urmează se schițează posibilitatea construirii unei măsuri numerice a probabilității, bazată pe elementele menționate și folosind o analogie utilă din tehnica telecomunicațiilor.

4. Evaluarea probabilităților „apriori” pe baza structurii cauzale a fenomenului ²

Fie un experiment care transformă un grup de cauze *C* într-un grup de efecte *E*. Vom modela acest experiment printr-un canal de comunicație care primește la intrare semnalele *C* și emite la ieșire semnalele *E*. Transmisia informației între intrare și ieșire poate fi afectată sau nu de zgomot (fig. 6.1). Prin zgomot înțelegem cauze și condiții variabile ce survin în timpul experienței și care, datorită ordinului lor de mărime sau constantei de timp, nu sînt măsurabile cu performanțele

¹ E. T. JAYNES, *op. cit.*

² M. BELIȘ, *On the Causal Structure of Random Processes in „Logic Language, Probability”,* Reidel, Holland, 1973.

¹ E. T. JAYNES, *Information Theory and Statistical Mechanics* în „Physical Review”, nr. 108/57.

simțurilor și aparatelor de care dispune observatorul. În sursa de zgomot mai includem și semnalele nedorite aparținând altor canale de transmisie ce lucrează simultan cu cel considerat (alte procese cauzale ce au loc în același timp).

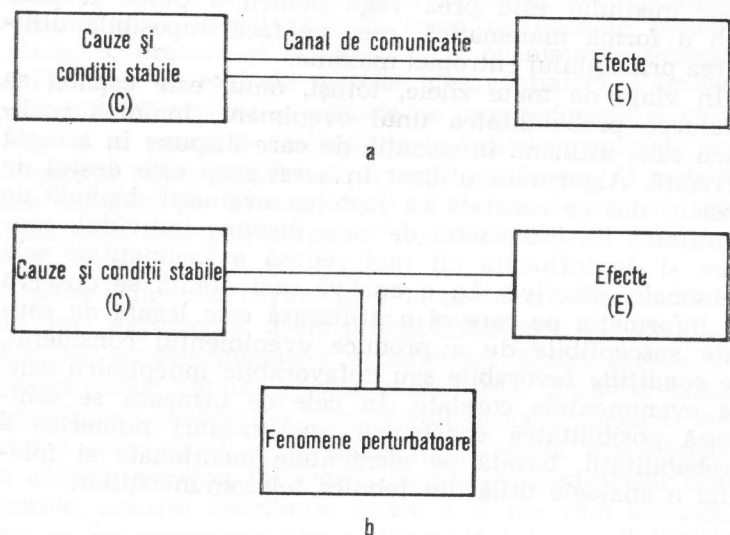


Fig. 6.1

De fapt, canalul de transmisie cu zgomot este cel mai general datorită imposibilității observatorului de a măsura (sau observa) totalitatea semnalelor variabile care survin în timpul unei transmisii. Dar, după cum vom vedea, existența canalului fără zgomot este justificată de faptul că unele transmisii nu sînt practic afectate de prezența zgomotului, ceea ce ne permite să-l neglijăm în cadrul modelului considerat.

În unele conexiuni cauzale, corespondența cauză-efect este bine determinată, neputînd fi alterată de perturbații, dacă acestea nu depășesc un anumit nivel. În alte tipuri de conexiuni cauzale, corespondența cauză-efect este influențată considerabil de perturbații, chiar dacă nivelul lor este foarte mic.

Primul tip de conexiune cauzală s-a pretat mult mai ușor observației iar corespondența cauză-efect a fost formalizată prin legi de tip dinamic (sau determinist); o vom numi în cele ce urmează, conexiune *stabilă*.

Cel de al doilea tip de conexiune cauzală — pe care o vom numi *instabilă* — a fost mult mai greu de studiat datorită faptului că unei aceleiași structuri cauzale îi corespund diferite efecte, în funcție de perturbații. Întrucît aceste perturbații sînt nemăsurabile de către un observator exterior, variația (imprevizibilă) a efectului în prezența acelorași cauze stabile a fost atribuită „hazardului” și conexiunea cauză-efect a fost formalizată prin legi de tip statistic.

Fenomenul aleator are un aspect subiectiv, legat de observator, și un aspect obiectiv, legat de însăși natura sa. Aspectul subiectiv constă în dificultatea cunoașterii (prin observare sau măsurare) a fenomenelor perturbatoare ce influențează rezultatul procesului aleator. Aspectul obiectiv constă tocmai în faptul că procesul este influențabil de către variații infinitesimale ale fenomenelor înconjurătoare, adică este instabil. Căci fenomene perturbatoare există, în general, și în prezența proceselor deterministe dar stabilitatea acestor procese le face invulnerabile față de perturbații. Fenomenele sînt aleatoare sau nu, independent de prezența vreunui observator exterior, datorită caracterului obiectiv al *instabilității conexiunii cauzale* care le determină. După cum remarcă Poincaré, mișcarea astrilor este un fenomen stabil, nealeator, indiferent de gradul de ignoranță al observatorului terestru, în timp ce, de exemplu, aruncarea cu banul este un fenomen aleator datorită instabilității conexiunii cauzale care îl determină și care face ca rezultatul experienței să fie puternic influențat de prezența diferitelor evenimente perturbatoare.

Conexiunile cauzale instabile, care posedă în structura lor cauzală un grup de cauze și condiții stabile (constante, permanente), pun în evidență, într-un lung șir de experiențe, o stabilitate a rezultatelor. Ele formează clasa proceselor aleatoare cu regularități statistice.

Conceptul de stabilitate a unui sistem a fost studiat în special în domeniul tehnic și mai recent, datorită

ciberneticii, acest concept a fost extins la sistemele biologice. Din considerentele de mai sus, conceptele de stabilitate și instabilitate apar a fi mult mai generale, extinzându-se la toate fenomenele lumii reale.

Pentru a analiza mai îndeaproape esența caracterului instabil al fenomenului aleator, să revenim la modelul transmisiunii cauzale din fig. 6.1. În general, structura cauzală a procesului (care va furniza semnalele de intrare ale canalului de transmisie) este formată dintr-un număr oarecare de cauze și condiții stabile care acționează simultan. Fie acestea, $c_1, c_2, \dots, c_n$. În urma experienței vor lua naștere unul sau mai multe efecte (sau rezultate) $e_1, e_2, \dots, e_m$, care pot fi compatibile sau nu.

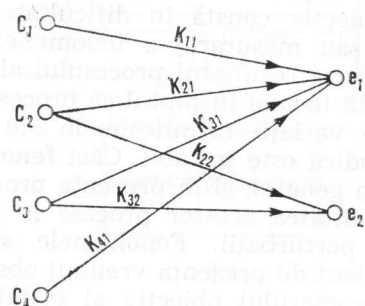


Fig. 6.2

În cazul în care acestea sînt compatibile se observă efecte principale și efecte secundare. În cazul în care ele sînt incompatibile, unul singur dintre ele se poate realiza la o experiență. Influența diferitelor cauze (aparținînd unei aceleiași structuri cauzale) asupra diferitelor efecte ale conexiunii respective nu este aceeași. În figura 6.2 s-a reprezentat cu ajutorul unor coeficienți, k_{ij} , gradul în care cauza sau condiția i influențează efectul j . Pentru simplificare se poate considera $0 \leq k_{ij} \leq 1$. Valoarea 0 arată o influență nulă a cauzei i asupra efectului j ; valoarea 1 arată că efectul j este condiționat puternic de cauza (sau condiția) i .

Se definește ca posibilitate de realizare a efectului e_j raportul :

$$P_j = \frac{\sum_i k_{ij}}{\sum_{i,j} k_{ij}} \quad \left\{ \begin{array}{l} i = 1 \dots n \\ j = 1 \dots m \end{array} \right.$$

care reprezintă suma ponderilor cauzelor și condițiilor favorabile efectului e_j împărțită la suma ponderilor tuturor cauzelor și condițiilor aparținînd structurii cauzale date.

Acest raport ne dă o măsură a determinării globale a unui efect în cadrul experienței respective. Unele efecte pot fi mai puternic determinate decît altele, după cum mai multe cauze, cu acțiuni mai puternică, concurează la realizarea lor.

Dacă prin natura experimentului, diferitele efecte posibile sînt incompatibile (ca în aruncarea cu zarul sau cu banul) conexiunea cauzală capătă un caracter instabil, diferitele „posibilități” de realizare a diferitelor efecte concurînd — în mod egal sau inegal — la determinarea efectelor respective. Care dintre aceste posibilități se va realiza la fiecare experiență depinde de influența imprevizibilă a perturbațiilor care se combină cu aceste posibilități, întărindu-le sau slăbindu-le. Dar, într-un lung șir de experiențe, acțiunile acestor influențe perturbatoare se vor anihila reciproc și fiecare efect se va realiza proporțional cu posibilitatea sa cauzală. Cu cît posibilitățile de realizare a diferitelor efecte incompatibile sînt mai apropiate între ele instabilitatea conexiunii cauzale se accentuează, întrucît cele mai mici influențe perturbatoare pot face să prevaleze una dintre posibilități față de celelalte determinînd realizarea efectului respectiv. Aceasta accentuează incertitudinea globală pe care o avem în privința realizărilor experimentului considerat și deci informația globală pe care acesta o conține.

Se poate arăta că posibilitatea de realizare a unui eveniment, definită pe baza structurii sale cauzale, este numeric egală cu probabilitatea sa, ceea ce rezultă consi-

derind modelul de transmisie a informației prin canalul cauzal.

Considerăm că la intrarea canalului se aplică semnale de amplitudini egale cu diferitele posibilități cauzale :

$$u_1 = P_1, u_2 = P_2, \dots u_m = P_m.$$

Aceste semnale trebuie transmise în prezența perturbațiilor, astfel ca semnalele de la ieșire (efectele) să aibă aceleași amplitudini relative. O metodă largă utilizată în tehnica telecomunicațiilor pentru extragerea semnalelor din zgomot este metoda „acumulării”. Ea constă în repetarea transmisiei aceluiași semnal și în însumarea semnalelor la ieșire. După un mare număr de repetiții, componentele de zgomot se vor anula reciproc, fiind aleatorii, iar semnalul util se va întări progresiv. Se arată că dacă transmisia se repetă de N ori, raportul semnal/zgomot se îmbunătățește de $\sqrt{N}$ ori la ieșire, față de cel de la intrare.

Metoda „frecvențelor” se bazează în fond, pe același principiu : un grup de cauze și condiții stabile (reprezentând semnalul util) sînt aplicate la intrarea canalului de transmisie cauzală, la fiecare efectuare a experienței, și se notează rezultatul. După un mare număr de experiențe, influența evenimentelor perturbatoare se va anihila și fiecare rezultat (efect) se va realiza proporțional cu posibilitatea sa cauzală, logică, care îl determină.

Analogia utilizată mai sus în ceea ce privește extragerea semnalului (cauzal) din zgomot oferă o punte de legătură fenomenologică între metoda frecvențială și cea clasică, ultima putînd fi dedusă din prima, ca un caz particular.

Se observă că, pentru a evalua probabilitățile de realizare a unor evenimente incerte, atît metoda frecvențială cît și cea clasică îl plasează pe observator la ieșirea canalului de transmisie cauzală, pentru a observa semnalele de ieșire. În cazul metodei frecvențelor, care este o metodă tipic „aposteriori”, observatorul trebuie să efectueze experiența efectiv, pentru a înregistra rezultatul. Prin urmare experiența trebuie să fie repetabilă,

adică observatorul trebuie să fie în măsură să aplice aceeași structură cauzală la intrarea canalului, structură a cărei componentă el nu o cunoaște. Dacă din considerente de simetrie a experienței, deduse mai mult intuitiv decît metodic observatorul ajunge la concluzia că evenimentele la ieșire sînt egal determinate cauzal, metoda clasică îl scutește de efectuarea experienței, asigurîndu-l că probabilitățile celor m evenimente egal posibile sînt egale între ele și egale cu $1/m$. Prin aceasta, metoda clasică este o metodă „apriorică” numai pentru cazul particular menționat. Mai mult decît atît, modul în care se evaluează „egalitatea posibilităților” este cu totul imprecis și poate duce la erori grave. Într-adevăr, acesta nu se bazează pe analiza structurii cauzale a procesului, singura care ne-ar putea duce la concluzii științifice, ci după cum spuneam, pe baza considerării rezultatelor. Astfel, la aruncarea cu zarul de exemplu, deducem intuitiv că cele șase fețe au posibilități de apariție egale ; o analiză minuțioasă a omogenității și geometriei zarului, precum și a mecanismului de aruncare, ar putea scoate în evidență însă, inegalitatea șanselor celor șase fețe și deci inaplicabilitatea metodei clasice.

Odată cu dezvoltarea științei și tehnicii s-a putut pătrunde mai adînc în structura fenomenelor și analiza conexiunilor cauză-efect la diverse nivele de complexitate. Aceasta a dus la posibilitatea plasării observatorului la intrarea canalului de transmisie cauzală și la analizarea structurii cauzale care condiționează desfășurarea unui anumit experiment. Odată evaluate posibilitățile de realizare a diferitelor efecte, conform definiției date mai sus, efectuarea experienței nu mai este necesară întrucît, după cum se arată, acestea reprezintă chiar probabilitățile diverselor efecte, ce vor reieși într-un lung șir de experiențe, după anihilarea zgomotului. Aceasta ar fi o metodă „apriorică” aplicabilă în cazul general al evenimentelor inegal posibile și de asemenea în cazul evenimentului izolat. Dificultatea ei constă în analiza structurii cauzale a fenomenului și în justa evaluare a coeficienților k ce reprezintă gradul de influență a diferitelor cauze și condiții asupra diferitelor efecte posibile. Aceasta depinde de cantitatea

de informație de care dispune observatorul asupra procesului respectiv. În acest sens este o măsură subiectivă, variind de la observator la observator, dar tinzând spre măsura obiectivă a probabilității, cu cât această informație crește. În acest scop observatorul poate utiliza datele puse la dispoziție de cunoașterea științifică, experiența sa proprie, analogiile pe care le poate stabili cu procese similare sau efectuarea de experiențe ajutoare.

Practic, evaluarea posibilităților cauzale se poate face completînd un tabel de tipul celui de mai jos (tabel 6.1)

Tabelul 6.1

cauze și condiții	efecte			
	e_1	e_2	e_j	e_m
c_1	k_{11}	k_{12}		k_{1m}
c_2	k_{21}	k_{22}		k_{2m}
c_i	k_{i1}		k_{ij}	 k_{im}
c_n	k_{n1}	k_{n2}		k_{nm}

care cuprinde pe coloană cauzele și condițiile stabile ce acționează în decursul procesului, iar pe linie efectele ce pot rezulta; coeficienții k_{ij} reprezintă gradul în care cauza sau condiția i determină, respectiv influențează efectul j . Reamintim că pentru simplificare s-a considerat $0 \leq k \leq 1$. Avem

$$P(e_1) = P_1 = \frac{\sum_i k_{i1}}{\sum_{i,j} k_{ij}}; \quad P(e_j) = P_j = \frac{\sum_i k_{ij}}{\sum_{i,j} k_{ij}};$$

$$P(e_m) = P_m = \frac{\sum_i k_{im}}{\sum_{i,j} k_{ij}}.$$

Vom lua în continuare câteva exemple:

a) *Aruncarea cu banul*. Presupunem că în urma unor analize tehnice nedestructive s-a ajuns la concluzia că banul este omogen, simetric, are suprafețele plane și că mecanismul de aruncare nu favorizează vreo față. În aceste condiții putem să concludem că toate cauzele și condițiile permanente, stabile, concură în mod egal la realizarea celor două efecte posibile, ceea ce duce la coeficienți de conexiune cauză-efect, egali (tab. 6.2).

Tabelul 6.2

cauze și condiții	$e_1(\text{ban})$	$e_2(\text{stemă})$
c_1 (banul este omogen)	0,5	0,5
c_2 (banul este simetric)	0,5	0,5
c_3 (suprafețe plane)	0,5	0,5
c_4 (mecanism corect de aruncare)	0,5	0,5

$$P_1 = 2/4 = 0,5;$$

$$P_2 = 2/4 = 0,5$$

Calculînd posibilitățile de realizare a celor două efecte (ban sau stemă) conform formulelor date anterior, deducem că aceste posibilități, și deci probabilitățile respective, sînt egale între ele și egale cu 0,5.

b) *Vremea probabilă*. Ne găsim în stare de incertitudine asupra timpului probabil la o anumită oră a zilei. Stările posibile pe care le luăm în considerație sînt: vreme frumoasă (soare), vreme umedă (ploaie) și vreme foarte friguroasă (ninsoare). Acestea sînt „efectele” posibile ale fenomenului meteorologic pe care îl observăm. Pentru evaluarea posibilităților respective vom lua în considerație o serie de „cauze” și „condiții” ca grosimea și deplasarea stratului de nori, viteza și direcția vîntului, temperatura existentă, perioada anului în care ne găsim etc. În tab. 6.3, s-au indicat coeficienții k_{ij} , adică gradul în care aceste cauze influențează fiecare din efectele posibile. Menționăm încă odată că valorile pe care le alocăm acestor coeficienți depind de cunoștințele noastre meteorologice, de măsura în care putem observa mediul înconjurător, pe

scurt de cantitatea de informație de care dispunem asupra fenomenului. Aceste valori pot fi deci cît mai exacte, sau dimpotrivă, foarte eronate în funcție de informația existentă. În exemplul considerat, am apreciat că existența unor nori la orizont, care se apropie, favorizează starea de ploaie și defavorizează timpul fru-

Tabelul 6.3

$c \backslash e$	e_1 (soare)	e_2 (ploaie)	e_3 (zăpadă)
c_1 (nori la orizont)	0,2	0,7	0,1
c_2 (vînt dinspre nori)	0,1	0,8	0,1
c_3 (temperatura ridicată)	0,5	0,5	0
c_4 (sîntem în august)	0,7	0,3	0

$$P_1 = 1,5/4 = 0,375; \quad P_2 = 2,3/4 = 0,575; \quad P_3 = 0,2/4 = 0,05$$

mos. De asemenea, efectul „zăpadă” este slab conectat la aceste cauze întrucît sîntem în luna august. Rezultă o probabilitate mai mare pentru starea de ploaie, una mai mică pentru timp frumos și una extrem de mică pentru ninsoare.

Tabelul 6.4

$c \backslash e$	e_1 (cîștigă A)	e_2 (cîștigă B)
c_1 (nivelul tehnic)	0,8	0,2
c_2 (condiția fizică)	0,4	0,6
c_3 (țara unde se ține) —	0,8	0,2
c_4 (starea vremii)	0,6	0,4
	2,6	1,4

$$P_1 = 2,6/4 = 0,65; \quad P_2 = 1,3/4 = 0,35$$

c) *Rezultatul unui meci de tenis.* În evaluarea șanselor de cîștig ale fiecăruia din cei doi jucători (tab. 6.4) trebuie să se țină seama de o serie de factori ca nivelul tehnic și condiția fizică a jucătorilor, de locul unde se

joacă meciul, de condițiile atmosferice etc. Este probabil că astfel de considerații intră, intuitiv, în calculul mintal pe care îl facem atunci cînd apreciem șansele celor doi jucători. Acestea sînt cauzele și condițiile stabile care determină soarta jocului și ele sînt singurele de care putem ține seama în evaluarea apriorică a șanselor. Această evaluare s-ar verifica desigur (dacă este făcută corect) într-un lung șir de meciuri ale celor doi jucători. Rezultatul unui singur meci însă nu poate fi prevăzut cu certitudine datorită suprapunerii peste aceste cauze stabile a unor cauze imprevizibile (de exemplu survenirea unor colici abdominale la unul dintre jucători) care, datorită instabilității procesului (jocul de tenis) poate influența rezultatul.

5. Oracole moderne

Metoda schițată în paragraful precedent, oferă posibilitatea evaluării numerice a probabilității unui eveniment în funcție de cunoștințele pe care le avem asupra cauzelor producerii lui. Dar, ca orice algoritm, el poate fi modelat pe un sistem tehnic de calcul care devine astfel, un sistem automat de elaborare a pronosticurilor.

Realizarea unui astfel de sistem, implică cunoașterea structurii cauzale a evenimentului a cărui producere — incertă — ne interesează, precum și a coeficienților k reprezentînd, numeric, influența acestor cauze.

Găsirea dependenței cauzale a fenomenelor este o problemă dificilă chiar pentru un om, avînd în vedere multitudinea de cauze care concură — cu ponderi diferite — la realizarea unui eveniment. Pentru aceasta trebuie observată în repetate rînduri producerea fenomenului respectiv, schimbarea condițiilor, cîntărirea influențelor. Modul de prelucrare a informației într-o operație mintală atît de complexă nu a fost algoritmizat, deci nu poate fi programat. Desigur în viitor, neurologii și psihologii vor pătrunde mai adînc, în tainele creierului, descifrînd funcționarea sa, atît la nivelul celular cît și la nivelul proprietăților globale. În acest caz, se vor putea formula *algoritmii* în baza cărora se efectuează calculele

mentale complexe care duc la evaluarea șanselor de producere a evenimentelor incerte. Din acel moment, mașina va putea face pronosticuri. Mai bune, sau mai slabe, după cantitatea de informație pe care i-o furnizăm; dar în orice caz, lipsite de deformări „subiective“.

Ca și în cazul luării deciziilor, contribuția mașinii la realizarea de pronosticuri constă deocamdată numai în calculul unor date introduse de om. El este cel care conceptualizează universul înconjurător, transformând datele incomplete pe care le are asupra diverselor conexiuni cauzale, în numere prelucrabile de către mașină.

Dezvoltarea științifică și tehnologică a epocii noastre pune însă, mai stringent ca niciodată, problema unei viziuni de perspectivă, atât în ceea ce privește direcția acestor dezvoltări cât și a implicațiilor economice și sociale pe care le determină.

Dealtfel prevederea pe termen lung a evoluției sistemelor și subsistemelor sociale formează obiectul unor intense preocupări și discuții metodologice. După B. de Jouvenel, cercetarea viitorului este o simplă „conjectură“, după G. Berger, o „perspectivă“, după F. Polak, „o imagine globală susținută de intuiție“.

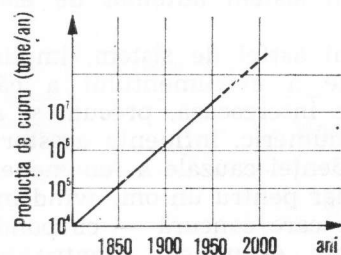


Fig. 6.3

Pentru direcții de dezvoltare mai înguste, tehnicile obișnuite de previziune constau în a studia variația unui anumit parametru pe o perioadă de timp și a extrapola variația lui în viitor. Iată, de exemplu, cum arată variația producției de cupru înregistrată începând din anul 1800. Variația fiind aproape liniară, ea poate fi ușor extrapolată pentru anii următori (fig. 6.3).

În cazurile însă în care se dorește a se analiza dezvoltarea unor fenomene complexe, în care trebuie să se țină seama de foarte mulți parametri s-a recurs la o metodă de previziune originală, cunoscută sub numele de „metoda Delfi“ (în amintirea oracolului cu același nume).

Metoda Delfi constă în a întruni un număr de experți din domeniul ce urmează a fi supus analizei de previziune și a le pune o serie de întrebări de tipul: „care este probabilitatea ca evenimentul X să se producă într-o anumită perioadă?“ Pe baza datelor, a necesităților și a tendințelor existente, experții — care nu comunică între ei — dau anumite răspunsuri. Acestea sunt confruntate, mediate și prezentate din nou participanților la experiment pentru a-și da din nou părerea. După câteva astfel de feedback-uri, se obține un pronostic, cât mai realist asupra dezvoltării unui anumit domeniu de activitate.

Primul experiment „Delfi“ a reunit un grup format din 20 de ingineri, 17 fizicieni, 14 logicieni și matematicieni, 12 economiști, 9 sociologi, 5 scriitori, 4 analiști operaționali, 1 ofițer. De atunci s-au ținut sute de asemenea experimente, pentru stabilirea unei cronologii a unor evenimente științifice și tehnologice. Iată un exemplu de rezultat al unui experiment „Delfi“ privind următoarele posibilități de aplicație a calculatoarelor:

- 1 — Diagnoza medicală asistată de calculator.
- 2 — Mașini inteligente cu scor ridicat (IQ = 120).
- 3 — Controlul automat al traficului.
- 4 — Interacțiunea directă creier-calculator.

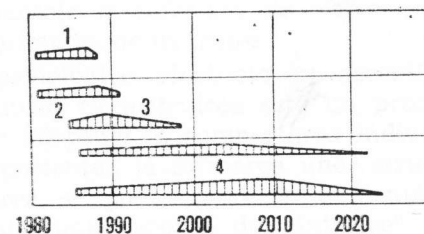


Fig. 6.4

În figura 6.4 sunt arătate prognozele privind dezvoltarea fiecăruia din aceste domenii în perioada 1980—2020.

Întrucît creierul uman este singurul sistem de calcul capabil să evalueze probabilitatea unui eveniment ținînd seama de condiționările cauzale (dar și de alți factori ca necesitățile și tendințele umane), metoda Delfi solicită această evaluare. Întrucît evaluarea este făcută de experți, se asigură o informație apriorică cît mai completă, iar prin faptul că se face o medie a evaluărilor individuale se micșorează erorile subiective, inerente unui evaluator de probabilități uman.

Cercetarea viitorului este o știință cu implicații majore pentru planificarea și dirijarea proceselor sociale, pentru elaborarea strategiei dezvoltării. Este un studiu inter- și multidisciplinar, condiționat de natura orînduirii sociale și de posibilitățile umane și tehnice la un moment istoric dat.

Revoluția științifică și tehnică a creat, pe de o parte, necesitatea cercetărilor pe termen lung a liniilor posibile ale dezvoltării iar, pe de altă parte, a elaborat mijloace, metode, tehnici, îndeosebi matematice, de abordare a problemelor viitorului.

Dar cercetarea viitorului implică, alături de o metodologie științifică, o atitudine filozofică și o responsabilitate morală.

Numai preocupîndu-ne de transformările cantitative și calitative care ne așteaptă în următorii ani, cîntărind consecințele acestor transformări și luînd măsurile necesare pentru a preîntîmpina aspectele nocive, vom putea evita acel „șoc al viitorului“ care a început să îngrijoreze pe unii gînditori ¹.

¹ ALVIN TÖFFLER, *Șocul viitorului*, Editura politică, 1970.

CAPITOLUL VII

Mecanismul învățării

„O pisică care s-a așezat odată pe o sobă fierbinte nu se va mai așeza niciodată pe o sobă fierbinte. Și nici chiar pe una rece.“

MARK TWAIN

1. Autoinstruirea, proprietate fundamentală a sistemelor biologice

O caracteristică comună tuturor formelor de activitate manifestate de sistemele biologice o constituie autoperfecționarea. Indiferent de procesul specific în care se manifestă, ea determină îmbunătățirea, prin mijloace proprii, a desfășurării procesului, satisfacerea maximală a necesităților sistemului, atingerea scopului într-un timp minim.

Autoperfecționarea este o consecință a unei proprietăți fundamentale manifestată de sistemele biologice și anume, proprietatea de instruire.

Studiile psihologice efectuate în această direcție au dus la concluzia că instruirea este un proces care duce la schimbări adaptive în comportarea individuală, ca rezultat al experienței, la formarea unor structuri mentale noi. Instruirea se poate pune în evidență după Skinner ¹ pe baza unui proces de „întărire“ (răsplată sau pedeapsă) ce diferențiază răspunsurile corecte de cele

¹ B. F. SKINNER, *Science and Human Behavior*, Macmillan, New York, 1953.

incorecte. Este un proces selectiv, în care individul caută drumul spre atingerea unui scop, precum și modul optim de obținere a acestuia. Este caracteristica principală a unei comportări inteligente.

Un sistem biologic se află în contact permanent cu mediul înconjurător de la care primește și căruia îi trimite o mare varietate de mesaje cu ajutorul organelor aferente și eferente pe care le posedă. De fapt, distincția sistem-mediu e numai metodologică, deoarece sistemele instruibile fac parte integrantă din mediu. Dar, cînd studiem un anumit sistem, îl separăm de toate celelalte sisteme, care constituie „mediul” în raport cu el.

Pe baza informației recepționate, în sistemul instruibil au loc schimbări structurale (la nivelul sistemului nervos pentru sistemele biologice) care determină o adaptare funcțională a acestora la mediu. Pe de altă parte, sistemul instruibil învață să modifice mediul, corespunzător cu nevoile sale.

Sistemele cu posibilități ridicate de instruire se adaptează funcțional mai repede la mediu și determină modificări adecvate ale mediului. Procesul transmiterii informației între sistemele biologice se face în scopul asigurării condițiilor optime de funcționare a fiecărui sistem. În actuala organizare a mediului natural, aceste condiții nu pot fi însă satisfăcute simultan. Rezultă că sistemele cu posibilități ridicate de instruire își vor asigura condițiile de funcționare în dauna celor cu posibilități de instruire mai reduse, pe care le vor aservi sau distruge. Capacitatea de instruire apare ca un factor selectiv în ansamblul sistemelor evolutive naturale.

Pe măsura evoluției sistemelor instruibile, au apărut forme noi, complexe, de interacțiune între sistem și mediu, tendința principală manifestîndu-se nu atît spre adaptarea la un mediu natural cît la unul social. Omul — sistem instruibil prin excelență — se depărtează treptat de tendințele primare ale speciei și își utilizează capacitatea de instruire pentru asigurarea condițiilor optime de funcționare a unei colectivități din ce în ce mai largi.

În forma primitivă instruirea se efectuează inconștient, prin experiențe repetate, întărindu-se automat o anumită legătură stimul-răspuns care s-a dovedit favorabilă

animalului. Un exemplu în acest sens îl constituie procesul de formare a reflexelor condiționate prin care animalul își stabilește o conexiune stimul-răspuns care este întărită prin răsplată.

La organismele inferioare dotate cu centrii nervoși simpli, activitatea reflexă depinde în special de caracterile moștenite.

Organul complex care este creierul se caracterizează, dimpotrivă, printr-un număr redus de circuite prestabilite. În rețeaua sa de celule nervoase structurarea conexiunilor corecte se face tocmai prin învățare.

La om apare un tip nou de instruire, rațională, volitivă, conștientă, prin care se obține nu numai simpla corespondență stimul-răspuns, ci elaborarea de către individ a unor structuri operaționale noi.

Mecanismul instruirii rămîne același, dar evoluția procesului este mai rapidă, prin faptul că sistemul poate prelucra o cantitate mai mare de informație pentru atingerea scopului.

Ambele tipuri de instruire, conștientă și inconștientă, se pot efectua în prezența sau în absența unui sistem instructor. Prin sistem instructor se înțelege un sistem cu posibilități superioare de prelucrare a informației și care controlează răspunsurile sistemului instruibil, asociindu-le întăririi adecvate pentru ca procesul de instruire să evolueze în direcția dorită.

Absența unui sistem instructor îngreuiază procesul, în sensul că sistemul instruibil trebuie să deducă singur, pe baza prelucrării informației, care sînt răspunsurile corecte ce îi asigură îndeplinirea scopului. Uneori acesta este complex și comportă etape intermediare, ceea ce implică învățarea unei adevărate strategii pentru atingerea sa. De aceea, sistemele „autoinstruibile” care învață fără profesor, reprezintă o treaptă superioară în ierarhia sistemelor instruibile.

O altă proprietate a sistemelor biologice care le-a asigurat supraviețuirea este aceea a adaptării. În contact cu mediul, sistemele biologice prezintă modificări structurale adecvate (la nivelul individului) sau adaptative (la nivelul speciei). Ele servesc unei mai bune integrări a sistemului în mediul înconjurător chiar dacă acesta își schimbă caracteristicile. Ca exemplu de schimbări adec-

vate putem cita vasoconstricția ce are loc la trecerea de la cald la frig, sau transpirația în cazul unei călduri excesive. Schimbările adaptative sînt constituite din toate modificările morfologice, funcționale sau comportamentale survenite în urma acțiunilor corelate a variațiilor întîmplătoare și a selecției naturale ce se împletesc în succesiunea a nenumărate generații.

Atît proprietatea de instruire cît și cea de adaptare au atras atenția tehnicienilor, avînd în vedere perspectivele pe care le deschid în diverse domenii, cum ar fi cel al automatizării.

Studiul procesului de instruire, întreprins de către psihologi, la începutul acestui secol, a cunoscut o deosebită dezvoltare în ultimii douăzeci de ani. Problema a fost atacată din diferite puncte de vedere după cum scopul era aprofundarea și formalizarea procesului în sine sau modelarea sa cu dispozitive tehnice pentru a se crea auxiliare utile omului. În continuare vom prezenta cîteva din cele mai reprezentative succese dobîndite în aceste direcții.

2. Modelarea matematică a procesului de instruire

Caracterul aleatoriu al răspunsurilor date de un sistem biologic în cursul procesului de instruire a dus la concluzia că selectarea răspunsurilor este guvernată de un mecanism probabilistic. Efortul matematicienilor a constat în elaborarea unor modele care să reflecte schimbările probabilistice ale răspunsurilor de la o experiență la alta. Acestea sînt modelele stochastice de instruire. Inițiate de școala de psihologie matematică din S.U.A. prin lucrările de pionierat ale lui Bush, Mosteller și alții, aceste cercetări au cunoscut și la noi în țară o dezvoltare fructuoasă. Sînt de menționat, în acest sens, lucrările matematicienilor O. Onicescu, Gh. Mihoc, G. Ciucu, M. Iosifescu, R. Theodorescu ș.a. În cadrul acestor modele, o experiență de instruire se caracterizează prin trei evenimente principale: stimul, răspuns, rezultat.

Stimulul reprezintă mulțimea semnalelor ce sosesc la intrarea sistemului; ei se caracterizează printr-o serie

de proprietăți fizice măsurabile. Stimulii trebuie să fie reproductibili, adică să poată fi generați cu o toleranță mai mică decît capacitatea discriminatoare a subiectului. Din punct de vedere matematic, se presupune existența unei mulțimi de elemente stimulatoare discrete, $S = \{s_1, s_2 \dots s_n\}$ și se postulează că subiectul extrage un eșantion din această mulțime, la fiecare încercare a unei experiențe de instruire.

Răspunsul este reprezentat de semnalul care apare la ieșirea sistemului în urma recepționării stimulilor. El determină o schimbare de stare fizică, fie a sistemului, fie a mediului. Din punct de vedere matematic, se definește mulțimea răspunsurilor posibile, $A = \{a_1, a_2 \dots a_m\}$, iar pe această mulțime se definește o funcție de măsură a probabilității,

$$p_{i,n}(a_1), p_{i,n}(a_2) \dots p_{i,n}(a_m)$$

corespunzătoare subiectului i și încercării a n -a.

Rezultatul este semnalul generat de mediu, ca urmare a răspunsului. Răspunsul poate fi corect sau incorrect ceea ce revine la o consecință directă asupra sistemului: rezultat favorabil (îndeplinirii scopului) sau nu. Învățarea are loc prin „întărirea diferențiată” a diferitelor răspunsuri. Din punct de vedere matematic, se definește mulțimea rezultatelor posibile $R = \{r_1, r_2 \dots r_p\}$ precum și mulțimea evenimentelor experimentale E , formate din toate perechile posibile (a_i, r_j) .

Un model matematic de instruire se caracterizează prin modul în care descrie schimbările în probabilitatea răspunsului de la o încercare la alta, adică prin operatorii care transformă probabilitatea răspunsului la încercarea a n -a în cea corespunzătoare încercării $n+1$.

Iată de exemplu „modelul liniar cu un singur operator”. Modelul cuprinde:

— două răspunsuri posibile, a_1 (corect) și a_2 (greșit), avînd respectiv probabilitățile, la încercarea a n -a: p_n și $(1 - p_n)$.

— operatorul de bază al modelului: $p_{n+1} = \alpha p_n$ în care $0 < \alpha < 1$ reprezintă viteza de învățare. Coeficientul α se definește ca: $\alpha = \frac{\text{numărul de greșeli}}{\text{numărul de încercări}}$. Dacă se no-

tează cu p_1 probabilitatea unei greșeli la încercarea în-

ția, atunci există relația $p_n = \alpha^{n-1} p_1$ care arată că probabilitatea unui răspuns corect la încercarea a n -a este cu atât mai mare cu cât viteza de învățare este mai mare și probabilitatea unui răspuns corect la prima încercare este mai mare.

Pe baza acestor elemente se deduc o serie întreagă de teoreme și date statistice privind desfășurarea procesului de învățare, cum ar fi media numărului total de greșeli efectuate în n încercări, șirurile de erori și succese etc.

Aceste date calculate sînt apoi comparate cu cele obținute pe baza desfășurării reale a unui proces de învățare. În felul acesta se evaluează corectitudinea modelului. Există o mare varietate de modele de acest tip care urmăresc descrierea cît mai exactă a realității experimentale.

Drept experiment simplu de învățare, s-a folosit „labirintul în T” în care un șoarece trebuie să învețe drumul spre locul unde i se pune hrana (fig. 7.1).

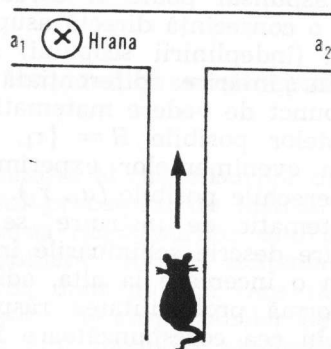


Fig. 7.1

Șoarecele este lăsat liber în aripa centrală iar hrana este dispusă în unul din brațele T-ului. Este un experiment cu două „răspunsuri” posibile: a_1 = merge la stînga; a_2 = merge la dreapta, cu probabilități inițiale egale $p(a_1) = p(a_2) = 0,5$ dacă șoarecele nu are nici o condiționare prealabilă. Rezultatele sînt tot două și anume: r_1 = răsplată (hrană), r_2 = pedeapsă (lipsa hranei). După un număr de încercări, șoarecele învață dru-

mul corect, probabilitatea luării spre stînga, crescînd spre valoarea 1.

Iată, de exemplu, cum variază probabilitatea răspunsului corect, în funcție de numărul de încercări, conform datelor experimentale (a) și conform modelului matematic (b). Se observă o concordanță mulțumitoare între cele două curbe (fig. 7.2, a, b).

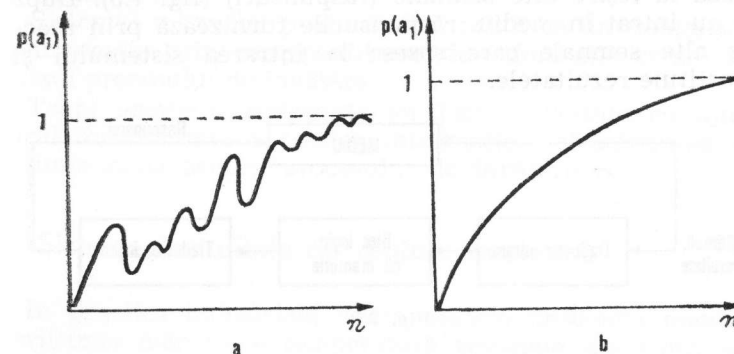


Fig. 7.2

Din punctul de vedere al formalizării procesului de învățare, al descrierii cantitative a evoluției sale, văzută din exterior, modelele matematice aduc un aport important. Ele nu contribuie însă, la aprofundarea mecanismului intern al acestui proces; ele nu iau în considerare procesele de comandă și control care au loc în sistemele instruibile și, din această cauză, tehnicienii nu pot găsi în ele un sprijin pentru modelarea procesului de învățare. Între cele două grupuri de cercetători care se ocupă cu studiul procesului de învățare, nu există, în mod paradoxal, nici o colaborare. Matematicienii elaborează modele din ce în ce mai rafinate, ce pot prezice detalii foarte fine din desfășurarea procesului (ca de exemplu numărul probabil de greșeli pe care le va face subiectul pînă la încercarea a n -a) iar ciberneticienii se străduiesc, mai mult sau mai puțin empiric, să modeleze procesul de învățare prin mecanisme teleologice, sau, mai recent, pe calculatoare digitale, prin elaborarea de programe speciale.

3. Modelul „comunicațional” al învățării

Un mod diferit de abordare a studiului unui proces de învățare îl constituie analiza transmiterii informației prin sistemul instruibil, privit ca sistem de comunicație¹.

Sistemul instruibil este considerat un „black-box” ce primește la intrare o serie de semnale (stimuli) și furnizează la ieșire alte semnale (răspunsuri) (fig. 7.3). După ce au intrat în mediu, răspunsurile furnizează prin reacție alte semnale care sosesc la intrarea sistemului și constituie rezultatele.

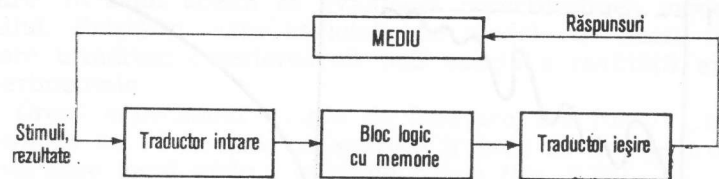


Fig. 7.3

Într-un sistem de comunicație obișnuit, unui semnal de intrare îi corespunde un anumit semnal de ieșire, care provine din primul după prelucrarea corespunzătoare funcției de transfer a sistemului. În absența zgomotului, această corespondență este bine determinată.

Sistemul instruibil reprezintă un sistem special de comunicație, la care, corespondența între semnalele de intrare și cele de ieșire nu este determinată prin construcție, unui semnal de intrare putând să-i corespundă, inițial, orice semnal de ieșire și reciproc, un semnal de ieșire putând să provină din orice semnal de intrare. Aceasta corespunde structurii nervoase inițiale a animalelor evolute care, având puține condiționări genetice pot stabili orice conexiuni noi între stimuli și răspunsuri.

Pe măsura desfășurării procesului de învățare, sistemul se autoorganizează, adică întărește acea conexiune care face să corespundă unui anumit stimul, răspunsul

¹ M. BELIȘ, *Informationstheoretisches Lernmodell*, în „Kybernetik”, nr. 3/1967 (R.F.G.), S. GUIAȘU, *Aplicații ale teoriei informației*, Ed. Academiei, Buc., 1968.

adekvat. În acest scop, el primește și prelucrează informația adusă de semnalele „rezultat”, referitor la eficacitatea diferitelor răspunsuri pentru atingerea scopului și înregistrează această informație. După o serie de experiențe, legătura stimul-răspuns favorabilă devine stabilă, cu alte cuvinte, din punct de vedere al comunicației între intrare și ieșire, sistemul începe să transmită informație.

Sistemul instruibil poate fi deci privit ca un sistem de comunicație prin care cantitatea de informație crește în cursul procesului de învățare.

Toate aceste considerente au fost dezvoltate cu ajutorul formalismului teoriei informației, obținându-se o viziune nouă asupra procesului de învățare.

4. Sisteme instruibile de reglare automată

În practica industrială apare deseori problema menținerii unor mărimi — temperatură, presiune, debit etc. — la o valoare prescrisă, optimă din punctul de vedere al procesului respectiv. Dacă aceste mărimi au tendința să varieze în timpul procesului, datorită unor cauze accidentale, neprevizibile, ar trebui ca omul să intervină tot timpul în desfășurarea procesului pentru a controla și menține valorile optime.

Pentru a înlocui omul în această îndeletnicire fastidioasă și care l-ar acapara permanent, s-au elaborat așa-numitele „sisteme de reglare automată” a căror funcționare se poate urmări pe schema din figura 7.4.

Comparatorul are rolul de a compara valoarea curentă a parametrului reglat cu valoarea optimă fixată prin mărimea de referință. Orice diferență între aceste valori determină apariția unui semnal de eroare care, prin organele de comandă și execuție readuce parametrul la valoarea dorită.

Să ne imaginăm, de exemplu, că parametrul de reglat este temperatura unui cuptor. Prin traductorul de măsură (o termorezistență) temperatura este transformată într-o tensiune electrică care se compară cu tensiunea electrică de referință. Dacă aceste tensiuni sînt egale, comparatorul nu dă nici un semnal. Dacă există o dife-

rență între ele rezultă un semnal de eroare care acționează organul de execuție prin intermediul organului de comandă și face să varieze curentul în rezistența de încălzire a cuptorului, mărind sau micșorând temperatura sa.

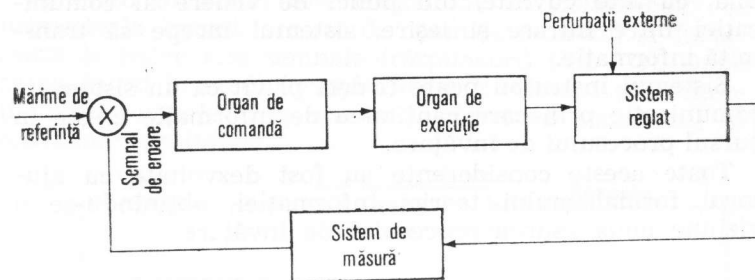


Fig. 7.4

Instalația, după cum se observă, funcționează automat, fără intervenția omului. Dacă variațiile în timp ale caracteristicilor instalației tehnologice sînt cunoscute, omul poate introduce prin proiectare un anumit program de funcționare al blocului de reglare, care să asigure o funcționare optimă a instalației, din punctul de vedere al criteriului de calitate ales. Asemenea sisteme se numesc *sisteme optimale*; funcționarea (și proiectarea) lor are loc în condițiile unei informații *apriorice complete*. Prin informație apriorică se înțelege ansamblul de date inițiale referitoare la instalația tehnologică și la semnalele care acționează din exterior asupra sistemului.

Dar caracteristicile instalației tehnologice sau semnalele aplicate din exterior sistemului pot varia într-un mod neprevăzut de proiectant. Acesta este cazul în care informația apriorică, datele inițiale de proiectare sînt incomplete. Proiectantul nu poate deci formula și prescrie un program fix regulatorului, pentru simplul fapt că nici el nu-l cunoaște.

În cazurile de funcționare cu informație apriorică incompletă, sistemul automat este prevăzut cu dispozitivele necesare pentru a determina modificări ale algoritmului de lucru al regulatorului care să compenseze variațiile neprevăzute menționate, asigurînd o funcționare

optimă. Acestea sînt *sistemele adaptive*, care aidoma sistemelor biologice se adaptează spontan variațiilor neprevăzute ale mediului pentru a-și asigura o funcționare optimă.

Funcționarea sistemelor adaptive implică o etapă importantă și anume *identificarea* caracteristicilor instalației tehnologice sau ale semnalelor exterioare neprevăzute, în scopul adoptării algoritmului de lucru celui mai adecvat. Este evident că erorile în procesul de identificare determină o alegere eronată a algoritmului și deci împiedică funcționarea optimă a sistemului. De aceea metodele de identificare a proceselor ocupă un loc important în studiul sistemelor adaptive.

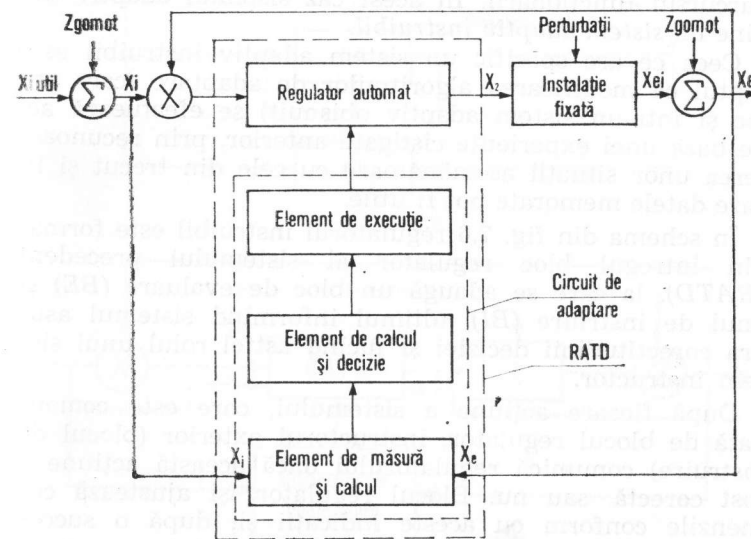


Fig. 7.5

Procesul de *identificare* este foarte asemănător cu cel al *recunoașterii formelor* care va fi prezentat în capitolul următor.

Funcționarea unui sistem adaptiv de reglare automat se poate urmări pe schema din fig. 7.5.

Asupra instalației fixe acționează semnalele x_2 de la ieșirea regulatorului automat funcționînd pe baza teo-

riei deciziilor (RATD). El este format din elementul de măsură și calcul ce primește atât semnalele de intrare cît și cele de ieșire, observînd astfel starea curentă a sistemului. Pe baza acestor observații, elementul de calcul și decizie alege strategia optimă de adaptare pe care o comunică elementului de execuție ce comandă regulatorul automat.

În calculele pe care le face pentru alegerea strategiei optime, elementul de calcul și decizie are nevoie de o serie de date inițiale cum ar fi, de exemplu, repartițiile probabilistice ale parametrilor aleatori ai sistemului¹. Dacă aceste date nu îi sînt cunoscute, sistemul le poate deduce, acumulînd și prelucrînd informația primită pe parcursul funcționării. În acest caz sistemul adaptiv devine un *sistem adaptiv instruibil*.

Ceea ce are specific un sistem adaptiv instruibil este faptul că modificarea algoritmilor de adaptare (care are loc și într-un sistem adaptiv obișnuit) se efectuează aici pe baza unei experiențe cîștigate anterior, prin recunoașterea unor situații asemănătoare cu cele din trecut și în care datele memorate pot fi utile.

În schema din fig. 7.6 regulatorul instruibil este format din întregul bloc regulator al sistemului precedent (RATD), la care se adaugă un bloc de evaluare (BE) și unul de instruire (BI), ultimul informînd sistemul asupra corectitudinii deciziei și jucînd astfel rolul unui sistem instructor.

După fiecare acțiune a sistemului, care este comandată de blocul regulator, instructorul exterior (blocul de instruire) comunică regulatorului dacă această acțiune a fost corectă, sau nu. Blocul regulator își ajustează comenzile conform cu aceste indicații și, după o succesiune de astfel de încercări, funcționarea lui se apropie de cea optimă. Rolul sistemului instructor este deținut de un calculator care prelucrează informația referitoare la răspunsurile curente în raport cu scopul urmărit și este astfel în măsură să corecteze funcționarea regulatorului. Evident, în aceste cazuri, calculatorul a fost programat corespunzător.

¹ S. CĂLIN și CONST. BELEA, *Sisteme automate adaptive și optime*, Ed. Tehnică, București, 1971.

Atunci cînd calculatorul nu este disponibil pe toată durata procesului de reglare, sau nu dispunem de suficientă informație apriorică pentru a-i putea furniza un program adecvat, sistemul adaptiv trebuie să se instruiască în absența unui element extern de control, adică să se autoinstruiască.

Un exemplu de sistem autoinstruibil este dat în fig. 7.7.

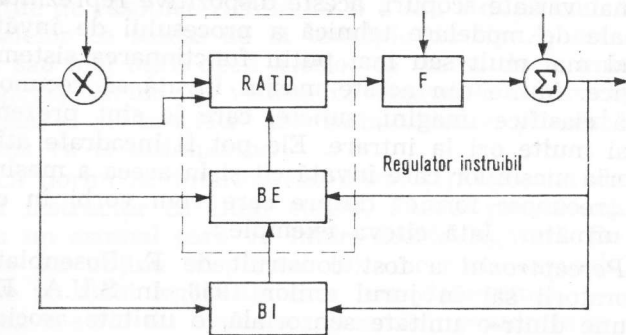


Fig. 7.6

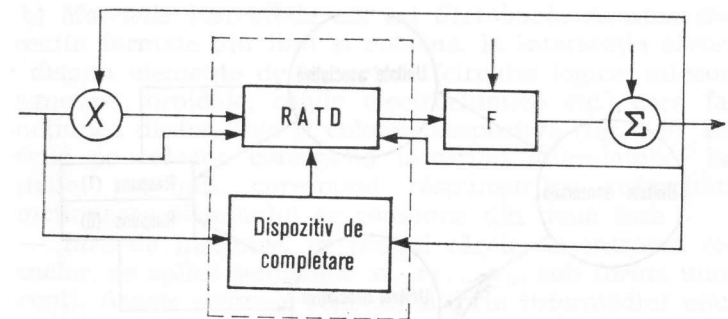


Fig. 7.7

Dispozitivul de completare determină o căutare aleatoare a deciziilor corecte care apropie sistemul din ce în ce mai mult de scopul, evident, cunoscut. Atingerea lui se efectuează într-un timp mai lung, deoarece se bazează numai pe observațiile proprii ale sistemului și nu pe o întărire exterioară.

5. Exemple de sisteme instruibile

În ultimii douăzeci de ani, pe lângă încercările de încadrare teoretică a procesului de învățare, pe care le-am prezentat succint în paragrafele precedente și pe lângă aplicațiile directe industriale, legate de sistemele de reglaj automat, au luat naștere și o serie de dispozitive electronice capabile să se instruiască. Construite pentru cele mai variate scopuri, aceste dispozitive reprezintă căi originale de modelare tehnică a procesului de învățare, imitând mai mult sau mai puțin funcționarea sistemelor biologice. Multe din aceste mașini învață să recunoască sau să clasifice imagini, sunete, care le sînt prezentate de mai multe ori la intrare. Ele pot fi încadrate atît în categoria mașinilor care învață cît și în aceea a mașinilor care „recunosc forme” despre care vom vorbi în capitolul următor. Iată cîteva exemple :

a) *Perceptronul* a fost construit de F. Rosenblatt și colaboratorii săi în jurul anilor 1958, în S.U.A. El se compune dintr-o unitate senzorială, o unitate asociativă și o unitate de răspuns (fig. 7.8).

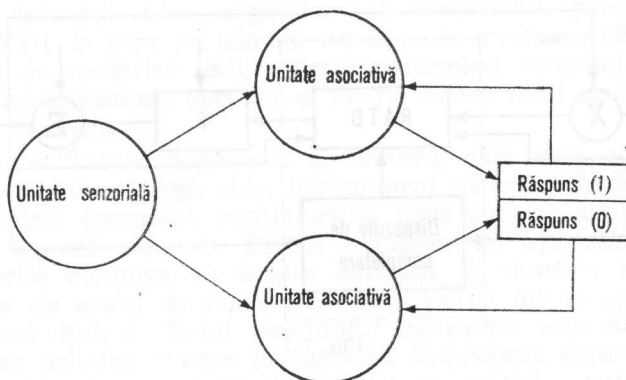


Fig. 7.8

Unitatea senzorială comportă o „retină” de 400 de unități și are 16 000 de conexiuni de ieșire. Aceste ieșiri sînt legate în mod întîmplător cu intrările unităților asociative. Există 512 asemenea unități asociative, avînd

51 200 de intrări și 64 de ieșiri. Unitățile asociative sînt de două feluri : cele de tip A_1 care determină răspuns (1) și cele de tip A_0 care determină răspuns (0). Se observă că răspunsurile pot fi numai de două tipuri ; fiecare răspuns util determină prin reacție, o întărire a conexiunilor active și o slăbire a celor inactive.

La un stimul aplicat la intrarea sistemului senzorial, unitățile asociative de ambele tipuri dau semnale spre unitățile de răspuns. Acesta va fi 1 sau 0 după cum suma semnalelor ce sosesc de la unitățile de tip A_1 este mai mare sau mai mică decît a celor ce sosesc de la unitățile de tip A_0 . Avînd în vedere că legăturile dintre blocul senzorial și cel asociativ sînt întîmplătoare, și acest prim răspuns va fi întîmplător.

Dacă dorim să întărim răspunsul (1), apreciat de sistemul instructor ca fiind corect, atunci prin reacție se va da un semnal care va întări aceste legături. De cîte ori se va obține răspunsul (0), incorect, semnalul de reacție va slăbi legăturile care l-au determinat.

După o serie de asemenea încercări, prezentîndu-se la intrare o aceeași imagine, perceptronul învață să o clasifice corect, dînd răspunsul dorit.

b) *Matricile instruibile ale lui Steinbuch*. Acestea sînt circuite formate din linii și coloane, la intersecția cărora se dispun elemente de conectare (circuite logice, miezuri magnetice toroidale, celule electrochimice etc.) care fac joncțiunea dintre linia și coloana respectivă (fig. 7.9). Intrările pe coloane corespund intrărilor stimulatorului iar ieșirile, pe linii, corespund răspunsurilor sistemului. Funcționarea sistemului se compune din două faze :

— faza de instruire, în timpul căreia, la intrarea coloanelor, se aplică semnalele $x_1, x_2 \dots x_n$, sub forma unor curenți. Aceste semnale reprezintă, prin intermediul unui traductor, mulțimea stimulilor care caracterizează o anumită stare a mediului înconjurător. Semnalele sînt, în general, codificate binar, adică o caracteristică x_i poate avea valoarea 1 sau 0 (există sau nu).

Simultan cu acest ansamblu stimulator, se aplică pe linia corespunzătoare răspunsului corect un semnal. Este perioada de învățare, în care sistemului i se indică răspunsul corect. Elementele de conectare care au primit simultan semnal pe linie și pe coloană își schimbă starea

(brusc sau progresiv) stabilind o legătură electrică între linia și coloana respectivă.

După un anumit număr de experiențe de învățare, fiecărui ansamblu stimulator prezentat la intrare, sistemul îi răspunde cu un semnal de valoare maximă pe linia corespunzătoare răspunsului corect.

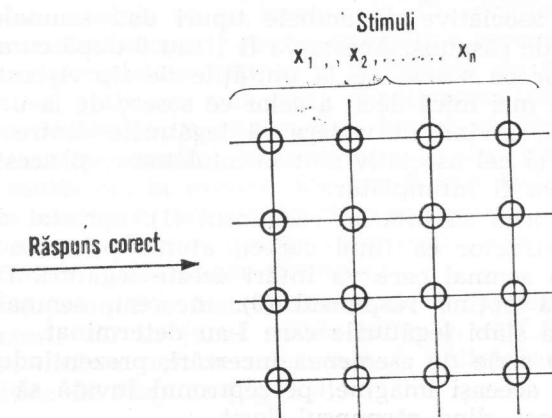


Fig. 7.9

c) *Calculatorul instruibil.* Dezvoltarea tehnicii de calcul a scos în evidență, în ultimele două decenii, posibilitățile importante ale calculatoarelor ca auxiliari ai muncii intelectuale a omului. Se pot deosebi mai multe etape în această dezvoltare.

Într-o primă fază, calculatoarele au fost utilizate pentru efectuarea rapidă și sigură a unui mare număr de operații logice simple.

A urmat apoi o etapă de elaborare a unor limbaje cât mai adecvate, pentru ca instrucțiunile să poată fi comunicate calculatorului cât mai eficient.

În ultimii ani a apărut o nouă etapă în dezvoltarea posibilităților calculatoarelor și anume aceea în care nu este nevoie să se mai specifice calculatorului modul complet de rezolvare a problemei, ci numai scopul care se urmărește în rezolvarea acestei probleme. Prin încercări succesive, calculatorul reușește să găsească singur calea

de rezolvare a problemei, adică îndeplinirea scopului. Întrucât calculatorul procedează prin încercări succesive, acumulând și folosind experiența trecută, el pune în evidență proprietatea de „învățare”, sau de „comportare inteligentă”.

Să vedem care sînt mijloacele prin care s-a încercat modelarea pe calculator a acestui aspect al comportării inteligente a omului.

O primă tendință a constatat în modelarea pe calculator a sistemului nervos la diferite nivele de complexitate, culminînd cu creierul omenesc.

În jurul anului 1950, Hebb a sugerat un model al creierului în care celulele asociative erau conectate în mod aleator într-o rețea complexă. Conexiunile utile erau întărite în urma experiențelor succesive, alcătuiind „trasee de memorie”. Farley și Clarck în 1954 și Rochester în 1956 au simulat această rețea pe un calculator digital, obținînd primele sisteme „auto-organizabile”.

Perceptronul lui Rosenblatt a fost și el simulat pe calculator punîndu-se în evidență, ca și pe dispozitivele specializate de tip „perceptron” proprietatea de instruire.

Există două limitări serioase în ceea ce privește dezvoltarea sistemelor de acest tip care urmăresc modelarea directă a sistemului nervos. Prima constă în complexitatea uriașă a acestei rețele: sistemul nervos central al omului conține 15 bilioane de neuroni dintre care 10 bilioane sînt incluși în creier. Fiecare neuron are un mare număr de dendrite iar neuronul însuși se pare că nu este un dispozitiv binar simplu. O a doua limitare provine din cunoașterea incompletă a sistemului de modelat, adică a sistemului nervos biologic, atît la nivel structural cît și funcțional. Astfel, de exemplu, mecanismele de codificare neurală a mesajelor sau de memorare a informației sînt departe de a fi elucidate.

O a doua cale de cercetare a constatat în modelarea pe calculator a comportării globale a sistemului biologic, privit acum din punctul de vedere al psihologului și nu al neurologului. Se poate obține o comportare inteligentă și prin alte mijloace decît cele utilizate de sistemele biologice, spun cercetătorii din această a doua categorie.

Totul este ca, comparind răspunsurile mașinii cu cele ale omului inteligent, ele să fie asemănătoare. Este o cale care s-a dovedit eficace și în alte domenii : atunci cînd oamenii au vrut să construiască mașini care să se deplaseze pe pămînt sau în aer, ei n-au imitat exact mersul animalelor sau zborul păsărilor, ci au inventat roata și aeroplanul, ce îndeplinesc, ba chiar depășesc cu mult performanțele sistemelor biologice.

Linia pe care s-a mers în această direcție a constat în elaborarea unor „programe heuristice” cu ajutorul cărora calculatorul poate, de exemplu, juca și cîștiga o partidă de joc. Spre deosebire de programele algoritmice, în care calculatorului i se indică pas cu pas calculele de făcut și deciziile de luat, programele heuristice lasă o anumită libertate de decizie în găsirea soluțiilor optime.

Programul heuristic trebuie să conțină metode pentru a anihila mișcările (deciziile) care duc la pierdere și a le încuraja pe acelea care duc la cîștig. Calculatorul trebuie să poată înregistra căile de mișcare spre cîștig sau spre pierdere pentru a le putea compara și selecta.

Cu alte cuvinte, în cadrul unui program heuristic calculatorul caută și găsește singur căile care permit găsirea răspunsului optim din punctul de vedere al criteriului de calitate dat de programator.

În prezent există asemenea programe cu ajutorul cărora calculatoarele pot juca șah, dame sau alte jocuri și pot învăța pentru a-și perfecționa progresiv jocul. Evident, programatorul care cunoaște jocul furnizează mașinii anumite criterii de calitate care definesc un joc bun. De exemplu, în cazul jocului de șah se urmărește ca piesele proprii să nu fie pierdute, să aibă posibilități cît mai mari de mișcare, adversarul să piardă cît mai multe piese și în special pe cele importante etc. Pe baza acestor criterii, care, după cum se observă, sînt destul de generale, mașina are libertatea de a-și alege singură mișcările. Este foarte probabil ca la început mașina să piardă. Dar, mașina ține evidența partidelor jucate și înregistrează mișcările care i-au adus succes din punct

de vedere al criteriilor menționate. Aceste mișcări vor fi utilizate mai des, mașina perfecționîndu-și treptat tactica jocului.

Desigur, mașina este tributară, și încă foarte mult, programatorului ei, dar marginea de libertate de alegere care îi este lăsată nu trebuie subestimată. Ea este premisa unui nou mod de funcționare a sistemelor tehnice de calcul cu mari posibilități de dezvoltare. Iată ce scria Norbert Wiener în această privință : „Se poate spune că toată această neașteptată inteligență a mașinii a fost creată de proiectantul și programatorul ei. Într-o privință așa este, dar nu se poate susține fără rezerve că toate noile deprinderi ale mașinii au fost în detaliu prevăzute de constructorul ei. Dacă lucrurile ar sta astfel, omului nu i-ar fi greu să-și domine propria creație. Dar, istoricul mașinii lui Samuel arată contrariul. De fapt, după ce a funcționat circa o zi, vreme destul de îndelungată, mașina lui Samuel nu s-a mai lăsat dominată de creatorul ei... Cîștiga și învățase să cîștige ; iar metoda ei de a învăța nu se deosebea, în principiu, de aceea a omului care învață jocul de dame”¹.

Evident, de la mașinile care învață să joace jocuri, se poate trece la mașinile care învață să îndeplinească orice funcțiune, cu condiția existenței unor criterii de calitate, bine definite, în legătură cu un scop dat.

Una din aplicațiile utile ale unor astfel de programe constau în conducerea proceselor de reglaj asupra cărora programatorul nu are date complete. În acest caz un sistem adaptiv instruibil poate prelua comanda procesului, lucru despre care s-a mai vorbit în paragraful anterior.

Un al treilea mod de a aborda problema mașinilor inteligente constă în posibilitatea calculatorului de a se autoprograma, generînd programe noi în care se păstrează elementele pozitive ale programelor vechi. După o succesiune de astfel de programe îmbunătățite, mașina poate îndeplini criteriul de performanță impus. Gene-

¹ N. WIENER, *Dumnezeu și Golem s.a.*, Ed. științifică, București, 1969, p. 28—29.

rarea de noi programe permite o mai mare variație în metodele utilizate și o eficiență sporită în găsirea soluțiilor optime. Este un proces de selecție a variațiilor utile, ceea ce a făcut ca acest mod de funcționare a mașinii să fie considerat ca o simulare a evoluției biologice¹.

¹ J. VOGEL, A. OWENS, M. WALSH, *Artificial Intelligence Through Simulated Evolution*, Wiley, 1966.

CAPITOLUL VIII

Mașina pe urmele omului

„Putem spera ca mașinile să fie eventual competitive cu oamenii în orice domeniu pur intelectual“.

A. M. TURING

1. Mai multă inteligență

Încă de la apariția sa „intelența“ calculatorului a suscitāt nenumărate controverse. De la cei care i-au refuzat orice scripire de intelență și pînă la cei ce i-au exaltat capacitatea „intelectuală“, o întregă gamă de aprecieri s-au făcut auzite la adresa sa. Ca și în multe alte domenii controversate, discuțiile se datoresc în special faptului că nu este bine lămurit obiectul discuției. Căci, pentru a acorda calculatorului calificativul de „intelligent“, ar trebui să știm mai întii ce este aceasta. Ori, o definiție riguroasă a intelenței — și universal acceptată — încă nu există. Etimologic, intelența este capacitatea omului de a înțelege, de a percepe o situație și de a reacționa adecvat, conform scopului. Dar, marea varietate și complexitate a problemelor — practice sau teoretice — ce se pot pune, viteza diferită cu care reacționează fiecare individ, gradul în care el face apel la memorie, precum și alți mulți parametri nemăsurabili, fac imposibilă existența unui criteriu absolut de apreciere a intelenței umane și deci, a celei tehnice. De aceea, s-a căutat a se modela cu ajutorul sistemelor tehnice și, în ultimul timp prin programarea calculatoarelor, acele operații mintale în care se consideră că oamenii dau dovadă de intelență.

Evident, nu este vorba de acele operații de rutină care fac apel, mai ales, la memorie : o mașină, care poate înmulți sau integra, nu este inteligentă. Dar o mașină care demonstrează teoreme, care stabilește analogii, care e capabilă de a face inferențe inductive, de a învăța să recunoască forme sau să joace șah, începe să se apropie de ceea ce se numește o activitate inteligentă. Aceasta se datorește faptului că, în cazurile amintite, mașina nu poate fi dotată cu un program complet, destinat să rezolve problema, avînd în vedere complexitatea sa. În aceste cazuri, mașina trebuie să încerce strategii noi, pentru a găsi soluția. Altfel spus, algoritmi încep a fi înlocuiți cu heuristicele.

Heuristicile sînt metode particulare prin care se pot rezolva unele probleme. Spre deosebire de algoritmi care reprezintă o succesiune de operații bine definite și care duc sigur la rezultat, heuristicile (de la cuvîntul grecesc *heurisko* = găsesc) reprezintă căi de rezolvare găsite ad-hoc prin luarea în considerare a situației globale și prin utilizarea experienței trecute; ele nu garantează obținerea rezultatului dorit, dar pot duce la rezultat mult mai rapid decît algoritmi.

Problemele complexe pot fi rezolvate de către mașină (și de către om), numai prin metode heuristice. Căci a elabora un program algoritmic, în aceste cazuri, revine la a lua în considerare toate variantele posibile pentru a o alege pe cea optimă. În cazul jocului de șah, de exemplu, numărul acestor variante este foarte ridicat, ceea ce face imposibilă o analiză completă a desfășurării jocului, atît pentru mașină cît și pentru om. De aceea, un jucător de șah va efectua o mișcare pe baza unor observații globale asupra situației curente a jocului ca de exemplu : „regina trebuie salvată cu orice preț”, sau „turnul trebuie să ajungă în terenul adversarului” etc.

Creierul omenesc este obișnuit a lucra cu heuristice, datorită posibilității pe care o are de a percepe realitatea în ansamblul ei — acel „gestalt” al psihologiei germane — și de a beneficia de o înțelegere bruscă, globală, a problemei. Spre deosebire de el, mașina lucrează pas cu pas, pe baza unor reguli de procedură care o ghidează spre rezolvarea problemei. Calea aceasta este infinit mai laborioasă și mai greoaie — mai plictisitoare

ar zice oamenii — dar, prin faptul că aceste calcule mașina le face foarte repede, ea reușește să ajungă la rezultat tot atît de rapid, și uneori chiar mult mai rapid decît omul cu intuiția sa globală. Fără a mai vorbi că intuiția poate da greș, iar o programare corectă — nici odată.

O simulare a inteligenței umane s-ar putea face și pe această cale : descompunînd procesul intelectual în milioane de operații logice elementare și programînd un calculator să le execute cu mare viteză. Pe această linie se merge, dealtminteri, în mod curent atunci cînd utilizăm calculatoarele. Dar omul simte că aceasta nu este adevărata inteligență. El vrea să-și perfecționeze opera, să o ridice la nivelul său. Și chiar dacă mașina e mult mai aptă să lucreze algoritmic, el o va face să lucreze și heuristic.

2. Mașina citește și vorbește

Am văzut că unul din factorii care îngreuiază colaborarea omului cu mașina îl constituie mijlocul de comunicație. În zadar lucrează calculatorul cu o viteză de cîteva milioane de operații pe secundă, dacă pentru a-i comunica o problemă sînt necesare ore de muncă : de programare, de transpunere a problemei în limbajul mașinii, de perforare a cartelelor. Cît de ușoară și de eficientă ar fi conversația cu calculatorul dacă acesta ar putea citi scrisul omului sau ar putea înțelege vorbele sale ! În această tentantă perspectivă au luat naștere, acum 10—15 ani, primele încercări de „recunoaștere a formelor”¹. Efortul principal a fost îndreptat spre găsirea unor metode care să permită unui sistem tehnic să recunoască literele alfabetului latin precum și cifrele arabe, acestea fiind scrise fie cu caractere standard — de tipar — fie, pe măsură ce metodele se perfecționau, cu caractere oarecare, chiar și de mîină. Primele aplicații, înaintea celor privind comunicația cu calculatorul, nu au întîrziat. În ultimii ani, în țările cele mai avansate, trierea corespondenței se face în marile centre poștale, în

¹ „pattern recognition” în l. engleză.

mod automat: mașina de sortat recunoaște codul numeric al localității scris citeț într-un loc anumit pe plic și efectuează trierea. De asemenea, în unele bănci există instalații automate pentru recunoașterea semnăturii de pe cecurile bancare.

Dar, pe măsură ce cercetările teoretice și practice s-au dezvoltat, oamenii și-au dat seama că importanța problemei recunoașterii formelor depășește cu mult obiectivul inițial, privind recunoașterea scrisului.

În general, a recunoaște o formă înseamnă a indica apartenența unui obiect la o clasă, deci a efectua o clasificare. Natura „obiectelor” poate fi foarte diferită, incluzând caractere tipografice sau scrise de mână, unde sonore, semnale optice, simptome de maladii, date meteorologice sau parametri de stare ai unei instalații industriale.

Corespunzător acestor „obiecte”, s-au format domenii de cercetare în recunoașterea scrisului sau a vorbelor, în studierea terenurilor pe baza fotografiilor aeriene, în diagnoza automată, în clasificarea electrocardiogramelor sau a celulelor sanguine, în prognoza automată a timpului și clasificarea evenimentelor seismice, în comanda sistemelor de reglaj automat cu stări necunoscute.

La o analiză mai atentă s-a observat că mai toate problemele „inteligenței artificiale” sînt de fapt probleme de „recunoaștere a formelor”. Căci, în toate cazurile în care mașina trebuie să ia o decizie, ea trebuie ca și omul de altfel, să efectueze o clasificare a datelor de intrare, împărțindu-le în mulțimi cărora le sînt atașate răspunsurile (sau datele de ieșire) corecte.

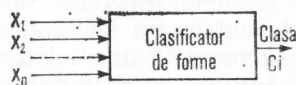


Fig. 8.1

Problema recunoașterii formelor poate fi redusă la o problemă de clasificare ce se formulează astfel: dîndu-se o formă X caracterizată printr-un număr de parametri $x_1, x_2, \dots, x_n$, precum și un număr de clase $C_1, C_2, \dots, C_r$, să se găsească apartenența lui X la una din clase (fig. 8.1).

Parametrii x_i de la intrarea clasificatorului de forme sînt semnale electrice provenite de la forma de recunoscut. Modul în care se realizează codificarea parametrilor forme de intrare în semnale electrice poate influența considerabil algoritmul de recunoaștere. De aceea, elaborarea dispozitivului codificator se face în strînsă legătură cu algoritmul de recunoaștere ce urmează a fi utilizat. Există o mare varietate de „traductoare” care transformă mesajele optice, sonore, calorice etc. ale forme, în semnale electrice. Astfel, de exemplu, litera de recunoscut poate fi proiectată pe un ansamblu de celule fotoelectrice, la ieșirea cărora se obțin sau nu semnale electrice, după cum celula respectivă a fost luminată sau nu. O altă metodă constă în a explora imaginea cu ajutorul unui fascicul de electroni care să furnizeze astfel, în mod dinamic, informații asupra părților luminoase și întunecoase ale forme.

Problema care se pune în această primă etapă de culegere a datelor nu este însă atît „cum” să se efectueze transformarea parametrilor fizici ai forme în semnale electrice, cît „ce” anume să se transforme, sau, cu alte

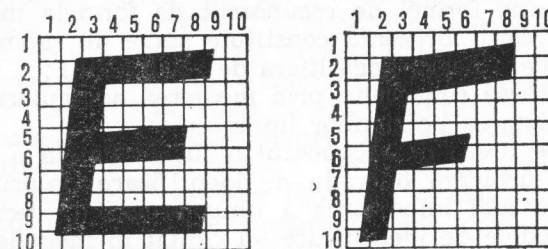


Fig. 8.2

cuvinte, care sînt datele esențiale ale forme (din totalitatea celor care o descriu) care pot duce, prin prelucrare, la o clasificare rapidă. Se pune deci problema separării informației principale de cea secundară, problemă fundamentală în cazul unei forme caracterizată printr-un mare număr de parametri. De exemplu, pentru a discerne litera E de F (fig. 8.2) este inutil ca traductorul să dea informații asupra regiunii superioare a figurii.

De aceea, dispunerea fotodiodelor sau efectuarea baliului trebuie să se facă în regiunea care furnizează maximum de informație discriminantă, adică a regiunii inferioare a figurii (liniile 8, 9, 10).

În afară de operația de selectare a datelor principale, mașina mai trebuie să efectueze o serie de operații, menite să aducă litera de recunoscut la o formă cât mai apropiată de cea standard. Într-adevăr, omul poate recunoaște o literă în orice poziție, de orice mărime, chiar incomplet desenată sau acoperită parțial de alte semne. Pentru mașină, însă, acestea sînt obstacole serioase, ceea ce a necesitat introducerea înaintea clasificatorului, propriu-zis, a unui sistem de „anteprelucrare” a datelor (fig. 8.3) care are de efectuat următoarele operații :

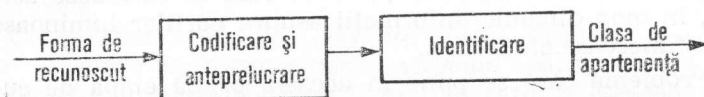


Fig. 8.3

— normalizarea formei de recunoscut din punct de vedere a mărimii și a poziției ;

— izolarea formei de recunoscut de formele înconjurătoare a căror prezență constituie surse de zgomot (de exemplu pete negre lângă litera de recunoscut) ;

— refacerea conturului prin medierea neregularităților sau completarea porțiunilor lipsă.

După ce litera de recunoscut a fost adusă la o formă standard, urmează operația de identificare propriu-zisă, partea cea mai importantă a unui proces de recunoaștere. Metodele de identificare au captat în mod deosebit atenția cercetătorilor.

O mare varietate de discipline științifice și-au adus contribuția în acest domeniu : teoria deciziilor statistice, teoria comutației, teoria reglajului automat, analiza lingvistică, programarea matematică, psihologia și fiziologia. În afară de aceasta, realizările practice ale sistemelor de recunoscut forme sînt foarte diferite, mergînd de la o gamă variată de dispozitive specializate, pînă la programe pentru calculatoare.

Mașinile de recunoscut forme pot fi împărțite în două mari categorii : neinstruibile și instruibile. Primele se

caracterizează printr-o structură sau programare rigidă, fiind realizate în general cu dispozitive specializate. În memoria mașinii se află înregistrate caracteristicile generale ale fiecărei clase iar mașina trebuie să compare succesiv caracteristicile obiectului de recunoscut cu cele ale diferitelor clase, pentru a găsi asemănarea maximă.

De exemplu, pentru recunoașterea unei litere se face o comparație între distribuția de puncte negre și albe a literei de recunoscut, și cea a diferitelor litere standard, căutîndu-se apoi coincidența maximă. Un algoritm de recunoaștere mai apropiat de cel utilizat de om constă în a compara diversele tipuri de linii și curbe ce compun literele. Aceasta permite o mai mare flexibilitate, litera putînd avea abateri mai mari față de forma standard.

Problema interesantă care se pune însă în recunoașterea formelor este ca, pe baza unei succesiuni de diverse exemplare prezentate mașinii, aceasta să reușească să-și formeze singură în memorie diversele tipuri de clase. O astfel de mașină constituie un sistem instruibil de recunoaștere a formelor. După felul în care se face instruirea, există, și aici, două variante :

a) sisteme instruibile pentru recunoașterea formelor controlate de instructor : în timpul perioadei de antrenare, mașinii i se prezintă diverse exemplare de obiecte iar un sistem instructor exterior (omul în general) îi indică de fiecare dată, clasa de apartenență ;

b) sisteme instruibile pentru recunoașterea formelor necontrolate de instructor : prezentarea exemplarelor (sau eșantioanelor) se face fără nici o indicație, mașina trebuind să-și formeze singură clasele, prin extragerea caracterelor esențiale ale fiecăreia.

Problema formării progresive a claselor în memoria mașinii a suscitat un deosebit interes în rîndurile cercetătorilor ; în această direcție au luat naștere o serie întreagă de metode teoretice și practice ca : metodele de corelație, metode bazate pe teoria deciziei, metode iterative, metoda deciziilor secvențiale, metoda funcțiilor potențiale. Este un domeniu teoretic și practic în plină dezvoltare și cu mari perspective de viitor.

Problema recunoașterii și generării formelor sonore — mai exact a limbajului vorbit — a fost și ea stu-

diată, teoretic și practic. Acum câțiva ani, la Tokio, cu ocazia expunerii Giocondei vizitatorii puteau auzi vocea enigmaticei muze a lui Leonardo da Vinci, așa cum cercetătorii japonezi și-au închipuit-o (pe baza conformației faciale) și au reușit să o „sintetizeze“ prin mijloace tehnice. Cît de departe sîntem de concepția anticilor care considerau vocea omenească ca fiind de origine divină !

Primul sintetizor de cinci vocale a fost realizat în 1799 cu ajutorul unor rezonatori acustici. Dar progrese substanțiale în această direcție și anume realizarea Vocoderului¹ în 1939 au fost realizate de-abia după ce s-a putut analiza spectrul armonic al vocii, adică componentele de diferite frecvențe și amplitudini care alcătuiesc vocea omenească. Mai exact, „analiza“ vocii a mers pe separarea și recunoașterea „fonemelor“, adică a sunetelor distincte ale limbii respective.

În această direcție menționăm o valoroasă realizare românească, instalația pentru reproducerea cuvintelor vorbite, concepută și construită de A. Lăzăroiu în cadrul Institutului de fonetică al Academiei R.S.R.

Recunoașterea fonemelor implică compararea structurii spectrale a celui ce vorbește cu structuri reprezentative, memorizate. Anumite date spectrale pot duce chiar la recunoașterea vorbitorului. Evident, recunoașterea vorbirii, în vederea conversației cu mașina, necesită o programare mai complexă, căci trebuie date și constrîngerile gramaticale, contextuale și semantice. Pînă în prezent, aceasta n-a putut fi realizată sub o formă suficient de flexibilă.

3. De ce și cum joacă mașina șah ?

În primul rînd, de ce ? Oare a juca șah e suprema probă de inteligență ? De ce se încăpățînează omul să joace șah cu mașina cînd are atîția parteneri din specia lui ?

Am văzut că, un pas înainte în direcția dezvoltării inteligenței tehnice, înseamnă renunțarea la o programare

¹ În l. engleză *Vocoder* = *Voice Encoder* = codificator vocal.

rigidă, complet algoritmică, în favoarea unei programări ce utilizează și heuristici. Încercările făcute pe această linie sînt axate pe jocuri de tipul șah, dame, nim etc. Iată de ce :

— Situația de „joc“ se pretează programării pe calculator deoarece regulile jocului și obiectivul sînt bine definite.

— Rezolvarea unui „joc“ de acest tip nu e nici atît de simplă încît să devină banală, nici atît de complicată încît să depășească capacitatea calculatoarelor actuale.

— Formalismul „teoriei jocurilor“, creat de von Neumann, a permis extinderea noțiunii de „joc“ la o serie întreagă de situații conflictuale din cele mai variate domenii : economie, sociologie, politică etc. Iată ce scria în acest sens Norbert Wiener¹ : „...mașina capabilă să joace un joc se poate folosi pentru îndeplinirea automată a oricărei funcțiuni, dacă realizarea acestei funcțiuni este supusă unui criteriu de calitate obiectiv și bine definit“.

— Jucînd cu un om — inteligent — mașina își poate dovedi și ea inteligența.

Trebuie să menționăm de la bun început că această dovadă s-a făcut : calculatoarele se comportă mai mult decît onorabil în jocul cu parteneri exersați. Evident, meritul este al celui ce a știut să le înzestreze cu capacitatea de a juca. Dar să vedem în ce constă acest merit.

Să presupunem că ne aflăm în fața unei table de șah. Există, în medie, cca 30 de mișcări posibile, consecutive unei mutări a partenerului. Deci, numai după primele două mutări a celor doi parteneri, există $30^2 = 900$ de variante de luat în considerare. După ce ambii jucători vor fi mutat de cîte două ori fiecare, numărul variantelor se ridică la $30^2 \times 30^2 = 810\,000$. Un joc obișnuit care cuprinde cca 40 de mutări, implică deci 30^{80} variante. În cazul unei programări algoritmice, calculatorul ar trebui, încă de la prima mișcare, să ia în considerare toate aceste variante pentru a alege strategia optimă. Presupunînd că el poate analiza 10^{12} variante pe secundă i-ar trebui, totuși, 10^{98} ani pentru a decide efec-

¹ N. WIENER, *Dumnezeu și Golem*, Ed. științifică, București, 1969, p. 30—31.

tuarea primei mișcări. Pentru cei ce nu realizează ce înseamnă acest ordin de mărime, precizăm că el este cu mult mai mare decât vârsta aproximativă a universului, apreciată la 10^{10} ani.

În aceste condiții, calculatorul — ca și omul — analizează anticipat doar câteva mișcări, evaluându-și performanțele în mod „global”. O funcție de performanță poate fi, de exemplu, „puterea de luptă” a pieselor fiecărui partener, apreciată numeric astfel: calul (± 3), nebunul (± 3), tura (± 5), regina (± 9), regele (± 5) (+ pentru albe, — pentru negre). Există și funcții de performanță mai complicate care iau în considerare și alte aspecte ca: mobilitatea fiecărei piese, poziția ei pe tabla de șah, apărarea regelui etc. Funcția de performanță este fixată de programator; calculatorul trebuie să aleagă acele mișcări care o fac maximă pentru el și minimă pentru adversar, evaluând-o pentru câteva mișcări înainte.

Ulterior, calculatorul a fost făcut să învețe pe parcursul jocului, întărindu-și mișcările care îi aduceau succes. Pe de altă parte, maximizarea funcției de performanță a fost înlocuită cu o „listă de scopuri principale și secundare” cu anumite priorități ca siguranța regelui, economia de piese, înaintarea pionilor etc. Aceste scopuri duc la reguli de joc care se apropie din ce în ce mai mult de cele urmate de un jucător uman.

Din cele de mai sus se întrevide care este sarcina programatorului. Mașina joacă conform indicațiilor date. Dar una e să programezi mutarea turnului de la a_1 la a_2 , și alta e să-i lași mașinii libertatea să îl mute unde vrea, cu condiția să nu îl piardă. În joc, ca și în alte domenii, activitatea e cu atât mai liberă, cu cât e determinată de un scop mai general. Căci un scop poate fi atins prin diverse strategii și cu cât scopul e mai general, strategiile sînt mai variate.

4. Mașina traduce

În acest turn al lui Babel care este planeta noastră — aproximativ 3 000 de limbi și dialecte — existența unui sistem tehnic capabil să redea la ieșire, într-o anumită limbă, un text științific sau literar introdus în

altă limbă, ar fi de un ajutor inestimabil. Acesta este motivul pentru care cercetători din țările cele mai avansate din punct de vedere tehnic luptă cu înverșunare pentru înzestrarea calculatorului cu această facultate, în ciuda dificultăților serioase pe care le întâmpină.

Este de ajuns să citim versurile lui Eminescu sau proza lui Creangă în engleză sau franceză sau poeziile lui Baudelaire în românește pentru a realiza cât de grea este această problemă, chiar și pentru om: cu toată calitatea incontestabilă a traducerilor, textul își pierde parfumul original. Dar să nu mergem la scrieri complexe; să luăm expresii simple, glume, proverbe ca „rîde ciob de oală spartă” care tradusă ad-literam își pierde sensul.

Dificultatea principală în efectuarea unei traduceri automate constă în faptul că traducerea nu este o simplă corespondență între cuvinte — care ar putea fi ușor programată — ci o corespondență între idei, între sensuri. Ori acestea rezultă din asocierea cuvintelor în structuri mai mult sau mai puțin complexe ca propoziții sau fraze; uneori chiar câteva succesiuni de fraze sînt necesare pentru a da contur unei idei. De aceea, funcționarea unei mașini de tradus este restrînsă deocamdată la texte simple, în afara domeniului beletristic.

Automatizarea traducerii comportă mai multe etape: a) recunoașterea cuvintelor din limba originală, pentru a le putea căuta în dicționarul înregistrat în memoria mașinii; b) traducerea cuvintelor cu ajutorul dicționarului și c) transpunerea cuvintelor traduse în sintaxa limbii noi. Fiecare din aceste etape comportă dificultăți rezolvate doar parțial.

Pentru a respecta limbajul cifric al mașinii, fiecărei litere a alfabetului i se alocă un număr; un cuvînt este deci reprezentat în memoria mașinii printr-o succesiune de numere (cuprinse între 1 și 26). Tot în memoria mașinii se găsește înregistrat un dicționar — numeric — cuprinzînd corespondența între cuvintele celor două limbi. Dificultatea găsirii unui cuvînt în dicționar constă în variațiile cuvintelor datorită declinării și conjugării, variații care în unele cazuri pot pune în încurcătură chiar și pe om. Dicționarul inițial trebuie deci completat cu un tabel de forme gramaticale, ceea ce face necesară o

memorie de capacitate foarte mare sau, în locul ei, un algoritm de regăsire a cuvîntului pe baza rădăcinii sale.

Presupunînd că a fost recunoscut cuvîntul, utilizarea mecanică a dicționarului poate duce la erori datorită ambiguităților semantice, existente în orice limbă. Adevăratul sens se poate alege uneori numai pe baza contextului.

În sfîrșit, dacă a fost efectuată și corespondența între cuvintele celor două limbi, urmează partea cea mai grea, formarea noilor propoziții. În acest scop, mașina este programată cu regulile de sintaxă ale limbii celei noi și cu criterii de recunoaștere a părților de propoziție ale limbii originale.

În aceste condiții, calculatorul poate efectua o traducere aproximativă¹. El are însă nevoie de a colabora cu omul care revelează textul tradus, ajustează eventualele inexactități și îi dă forma finală.

5. Mașina face analogii și demonstrează teoreme

Posibilitatea de a stabili analogii între entități de natură diferită este un alt aspect al unei activități „inteligente”. Ea comportă două etape.

— Descrierea fiecărei entități pentru a forma o reprezentare, un model interior, propriu. Aceasta revine la analiza elementelor componente ale structurii respective, precum și a relațiilor dintre ele.

— Compararea entităților între care se caută analogia din punctul de vedere al raporturilor sau relațiilor dintre elemente.

Să considerăm, de exemplu, problema recunoașterii analogiilor între diferite figuri geometrice, problemă rezolvată cu succes de un calculator IBM 360, în cadrul institutului de tehnologie din Massachusetts (Statele Unite).

¹ ERIKA DOMOKOS, NISTOR și ELIZA ROMAN, *Încercări de automatizare în domeniul recunoașterii, analizei și traducerii textelor*, în „Studii și cercetări de documentare”, nr. 1/1967 — București.

Se dau figurile geometrice $A, B, C, D_1, D_2, D_3, D_4, D_5$ reprezentate în fig. 8.4.

Asemănarea dintre figura A și figura B este analoagă cu asemănarea dintre figura C și care dintre figurile $D_1 \dots D_5$?

Mașina a analizat figurile, le-a descris sub formă de linii, puncte și curbe și a stabilit relațiile dintre ele. În modul acesta ea a reușit să stabilească analogia dintre perechea A, B și perechea C, D_3 .

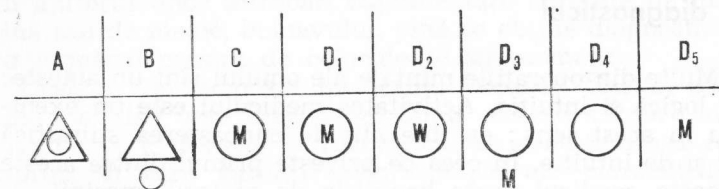


Fig. 8.4

Un grup de cercetători din Statele Unite, sub conducerea lui A. Newell, au pus la punct o metodă de programare heuristică, destinată rezolvării de către calculator a unei mari diversități de probleme ca jocuri, demonstrarea de teoreme logice, găsirea de identități algebrice și trigonometrice etc. Acest program denumit GPS (General Problem Solver = rezolvă probleme generale) și-a dovedit eficacitatea în cele mai variate direcții. Printre altele, el a permis calculatorului să demonstreze 38 din cele 52 de teoreme din „Principia mathematica” a lui Russell și Whitehead.

Pentru a demonstra o teoremă, mașinii i se dau premisele, regulile de deducție precum și teorema ce trebuie demonstrată. Evident, ea nu e programată cu procedura de decizie căci situația ar fi banală. Ea procedează prin „încercări și erori” pe baza unor indicații generale și a unor heuristici pentru a ajunge la demonstrație.

Ulterior, H. Wang a inventat metode mai eficiente de demonstrare, mai apropiate de specificul mașinii, adică de calculul numeric. Plecînd de la lucrările lui D. Hilbert care, acum 50 de ani, a încercat să formalizeze pro-

cedura de demonstrare, Wang a creat o nouă ramură a logicii aplicate, numită „analiza inferențială“ care tratează demonstrațiile așa cum analiza numerică tratează calculul. Cu ajutorul ei, calculatorul programat de Wang a demonstrat totalitatea celor 52 de teoreme din „Principia“ într-un mod mai elegant și mai simplu. Heuristicele lui Wang nu sînt însă atît de generale ca cele ale lui Newell, aplicîndu-se strict în domeniul matematic.

6. Mașina îl ajută pe medic să pună diagnosticul

Multe din operațiile mintale ale omului sînt un amestec de logică și intuiție. Activitatea medicului este un exemplu în acest sens; ea ține atît de cunoașterea științifică cît și de intuiție. În ceea ce privește primul dintre aceste aspecte, medicul poate beneficia de ajutorul mașinii.

Mecanismul intelectual al diagnosticului constă într-o succesiune de comparații între simptomele prezentate de bolnav și simptomele maladiilor pe care medicul le are înregistrate în memorie. Pentru mai multă siguranță și precizie, medicul folosește dispozitive auxiliare, atît în ceea ce privește culegerea datelor de la pacient (analize, radiografii etc.) cît și datele înregistrate (cărți, tabele, îndreptare etc.).

Rolul auxiliarilor tehnici este atît de mare în examinarea bolnavului încît medicina modernă nici nu poate fi concepută fără ajutorul lor. Căci, de exemplu, un simptom nedecelabil la simpla ascultare a cordului este pus în evidență de electrocardiogramă iar micile pastile radioemitoare înghițite de bolnav furnizează medicului informații prețioase asupra tubului digestiv.

Urmează o comparație între simptomele bolnavului și cele din memorie sau tabele, pentru elaborarea diagnosticului. Acolo unde se întîlnește o contradicție, diagnosticul *se elimină*; acolo unde există o concordanță de simptome, diagnosticul e *posibil*. În etapa a doua, medicul ia pe rînd diagnosticele posibile și încearcă pe bolnav semnele specifice ale unei maladii. În cazul în care toate semnele concordă, se obține diagnosticul *corect*.

Desigur, un medic practician, cu experiență, efectuează aceste etape foarte repede și uneori chiar incomplet, în special pentru diagnosticarea unor maladii curente. Dar disecarea acestui mecanism a permis realizarea unor sisteme tehnice (sau programe de calculator) care să efectueze automat operațiile menționate, dînd un ajutor prețios medicului.

Simptomele pe care le prezintă bolnavul sînt introduse — codificat — în mașină, care le compară cu simptomele maladiilor înregistrate în memorie. Rezultă un număr de diagnostice posibile; ele sînt testate succesiv cu ajutorul unor întrebări suplimentare adresate de mașină sau de medic, bolnavului, pînă se obține diagnosticul cu numărul maxim de coincidențe simptomatice.

Desigur, nu se poate încredința exclusiv mașinii sarcina stabilirii unui diagnostic. Omul este un sistem complex în care psihicul și fiziologicul se condiționează reciproc, în care variații infinitezimale ale parametrilor pot determina, prin acumulare, stări patologice. Toate aceste laturi nealgoritmizabile ale ființei umane nu pot fi luate în considerare de către mașină. Ele pot fi cîntărite numai de către un sistem cel puțin la fel de complex, adică tot de om. Dar combinația dintre medic și calculator în elaborarea unui diagnostic poate fi deosebit de fructuoasă din mai multe puncte de vedere și anume:

— Memoria mașinii este încăpătoare și sigură. Mașina nu uită. Ea poate fi încărcată cu totalitatea simptomelor maladiilor cunoscute și a căror listă este în continuă creștere, datorită progreselor neîncetate ale medicinei. Mai mult decît atît, mașina poate fi ținută la zi cu aceste progrese, completîndu-i-se neîncetat datele din memorie. Care medic poate cerceta cele aproape 4 000 de periodice medicale existente pe glob?

— Explorarea diagnosticelor posibile este făcută conștiincios și rapid; mașinii nu îi scapă nimic. Ea livrează rapid diagnosticul cel mai probabil. Este acum rîndul medicului de a-și aduce aportul său de experiență și intuiție, pentru a preciza sau eventual modifica acest diagnostic, în lumina unor observații mai subtile.

Mașina are rolul de a-i netezi medicului calea, eliberîndu-l de ceea ce este laborios și face apel la memorie,

pentru a-i permite să se consacre mai intens studierii bolnavului. Căci de acest studiu și de calitatea observațiilor sale depinde în mare măsură succesul diagnosticului tehnic.

Simbioza dintre medic și calculator promite să se dezvolte substanțial, pe măsură ce flexibilitatea acestuia din urmă se va accentua iar dialogul om-mașină va căpăta o formă mai fluentă. Operațiile de culegere a datelor de la bolnav vor putea fi combinate cu acelea de diagnosticare, în cadrul unui sistem tehnic complex. Acesta ar înregistra automat temperatura bolnavului, presiunea arterială, electrocardiograma, electroencefalograma, ar face analizele de sânge, urină etc. și ar întocmi un tablou cât mai complet al activității fiziologice a acestuia, stabilind și diferențele față de valorile normale. Interpretarea rezultatelor ar rămâne, desigur, în continuare, sarcina medicului care ar fi creierul acestui uriaș mecanism tehnico-uman, un adevărat „organism cibernetic” pus în slujba omului.

De aproximativ 15 ani, studii laborioase au permis punerea la punct a unor metode de interpretare automată a electrocardiogramelor în vederea caracterizării unor stări patologice. Este în fond o problemă de „recunoaștere a formelor”, mașina trebuind să identifice valorile unor parametri ca „amplitudinea” sau „timpul de creștere” al impulsurilor periodice, care corespund diverselor faze ale contracțiilor inimii.

Interpretarea automată a electroencefalogramelor ridică probleme mai dificile, semnalele nefiind periodice.

Clasificarea automată a leucocitelor după forma nucleului a fost întreprinsă de curând; în acest scop, în momentul fotografierii țesutului sanguin se utilizează filtre colorate pentru a elimina globulele roșii. Interpretarea automată a clișeelelor în biologie este un domeniu în plină dezvoltare.

Recunoașterea automată a amprentelor digitale este legată direct de problema recunoașterii formelor. Amprenta este descrisă printr-un număr de configurații tip care, codificate, sînt comparate cu cele deja înregistrate în memoria calculatorului, pentru a identifica asemănarea maximă. Menționăm că printre metodele moderne de identificare a unei persoane, se află și aceea bazată

pe „amprentele vocale”. Vocea fiecărui individ conține „formanți” specifici care pot constitui criterii de identificare.

7. Mașina profesor

Creșterea din ce în ce mai accelerată a volumului de cunoștințe necesar a fi însușite de un număr de oameni din ce în ce mai mare de oameni ridică problema ameliorării procedeelelor clasice de transmitere a acestor cunoștințe. Aceasta a determinat dezvoltarea în ultimii douăzeci de ani a unei științe experimentale numite învățămîntul programat, care utilizează procedee pedagogice noi, asociate cu sisteme tehnice ce servesc la însușirea cunoștințelor, și care sînt mașinile de învățat¹.

Metodele învățămîntului programat sînt destinate să mărească eficacitatea interacțiunii profesor-elev nu prin înlocuirea profesorului, ci prin efectuarea unor operații auxiliare cu randament sporit. Problema predării anumitor informații revine la a descompune această informație în părți elementare, în a controla însușirea fiecăreia dintre aceste părți de către elev prin întrebări judicioase puse, în a corecta erorile prin informații suplimentare și a modifica eventual modul de predare, adaptîndu-l la receptivitatea fiecărui elev. Toate aceste operații pot fi programate și deci efectuate de calculatoare (sau de mașini specializate).

Prin mașină de învățat se înțelege deci orice dispozitiv capabil de a prezenta informații și de a pune întrebări elevului, prevăzut cu un mecanism de analiză, de înregistrare și de conservare a răspunsurilor și putînd avertiza pe elev de valoarea acestora. Există o mare varietate de mașini de învățat, cele mai simple avînd numai rolul de a prezenta informații elevului, fără a-i controla răspunsurile, altele avînd în plus posibilitatea de a-i indica elevului greșelile comise și de a-i pune întrebări ajutătoare, cele mai noi, în fine, avînd posibilitatea de a-și adapta strategia predării la capacitatea fiecărui elev.

¹ B. F. SKINNER, *Revoluția științifică a învățămîntului*, Ed. didactică și pedagogică, București, 1971.

În linii generale, o mașină de învățat cuprinde un dispozitiv de prezentare a informației, sub formă vizuală, auditivă sau combinată. Răspunsul dat de elev, prin intermediul unui sistem prevăzut cu clape, este trimis la un dispozitiv de diagnosticare, care cuprinde un comparator și un evaluator. Comparatorul compară răspunsul cu cel corect, înregistrat în memorie, iar evaluatorul informează elevul, prin intermediul unui dispozitiv de semnalizare, de valoarea răspunsului. Aceste date sînt înregistrate în memorie și transmise unui sistem de decizie, care alege dintr-un stoc de informații următoarea întrebare, ținînd seama de răspunsurile precedente.

Tendința de perfecționare a mașinilor de învățat se manifestă în direcția realizării unor mașini de învățat autoinstruibile; acestea sînt caracterizate printr-o flexibilitate sporită, putîndu-și modifica sistemul de întrebări în funcție de capacitatea de asimilare a elevului, adică de calitatea răspunsurilor sale. Elevul învață deci de la mașină, dar și mașina învață de la elev cum să-i predea. Circuitul cibernetic profesor-elev se închide astfel în ambele sensuri.

Din punct de vedere pedagogic, învățămîntul cu ajutorul unor astfel de mașini prezintă trei caracteristici esențiale care îl diferențiază de cel clasic:

- însușirea cunoștințelor se efectuează în ritmul personal al fiecărui elev, avînd loc o adaptare permanentă între cel care predă și cel care învață;

- atenția elevului este mereu solicitată, el trebuind să participe activ la desfășurarea cursului datorită sistemului de întrebări și răspunsuri;

- indicarea imediată a valorii răspunsului, deci a corectitudinii sau a incorectitudinii sale, împiedică memorizarea, temporară, a unor noțiuni inexacte.

Desigur, aceste avantaje evidente ale învățămîntului programat trebuie combinate cu avantajele de neînlocuit ale învățămîntului clasic. Acestea constau în valoarea morală a informațiilor umaniste, care nu se pot transmite decît de la om la om.

Un alt aspect al problemei complexe de însușire a cunoștințelor îl constituie documentarea. Ea constituie etapa superioară a activității de informare a omului, care

nu mai necesită intervenția unui sistem instructor (biologic sau tehnic) și se bazează numai pe capacitatea lui de recepție și de prelucrare a informației. Volumul, în continuă creștere a informației înregistrate de care dispunem ridică stringent problema găsirii celor mai eficiente metode de prezentare, sistematizare și indexare a acestei informații pentru a o face accesibilă și utilă cercetătorului. A apărut astfel o nouă ramură a ciberneticii, automatica documentară, care se ocupă cu mecanizarea procesului de regăsire a informației în marile centre documentare. Aceasta se poate face cu dispozitive specializate sau cu ajutorul calculatoarelor. Problema constă în elaborarea unei scheme, respectiv a unui algoritm de indexare, care să permită, mergînd atît de la general la particular, cît și de la particular la general, regăsirea unei probleme de specialitate și a contingentelor ei cu specialitățile învecinate. Există în prezent tendința de a crea și în acest domeniu sisteme cu posibilități autoadaptive, care să-și modifice organizarea internă, clasificînd automat (în clase eventual noi) o cantitate de informație în continuă creștere.

8. A fi sau a nu fi... inteligent

După ce am văzut ce poate face și cît poate face, după ce am extrapolat și ce ar putea face în viitorul mai apropiat sau mai depărtat totuși o îndoială mai rămîne în privința calculatorului. Este oare inteligent cu adevărat sau numai în aparență? Degeaba ne repetăm că de fapt nici noi nu știm ce e inteligența, că practic întrebarea n-are nici un sens, important e că el ne ajută ș.a.m.d. Întrebarea stăruie, și nu de ieri de azi, ci de cînd omul a început să fabrice mașini care să-l imite. Iată ce scria în acest sens filozoful, matematicianul și fizicianul francez Descartes¹, în legătură cu modelele mecanice ale omului care începuseră să apară încă din secolul al 16-lea: „...dacă ar exista o mașină care ar avea o atare asemănare cu corpurile noastre și ar imita acțiunile noastre pe cît posibil, ar exista totdeauna două

¹ RENÉ DESCARTES, *Discours de la méthode*, 1637.

metode, absolut sigure, de recunoaștere că nu este un om adevărat. Prima constă în aceea că mașina nu ar putea niciodată să utilizeze vorbe sau alte semne, în scopul comunicării gândurilor sale altora, așa cum facem noi. Și totuși e de conceput ca o mașină să poată fi astfel făcută încît să pronunțe cuvinte și chiar cuvinte conforme actelor fizice : ... dar ea n-ar putea niciodată să-și modifice frazele pentru a răspunde cu sens la orice ar fi spus în prezența sa, așa cum o poate face chiar cel mai redus om. A doua metodă de recunoaștere constă în aceea că, cu toate că astfel de mașini ar putea face multe lucruri tot așa de bine, sau poate chiar mai bine decît omul, ele ar eșua cu siguranță în altele, prin care am descoperi că ele nu acționează prin înțelegere ci numai prin dispoziția organelor lor“.

Cam pe aceeași linie de gîndire se înscrie și ciberneticianul francez Pierre de Latil cînd scrie¹ : „Să admitem că, în viitor omul va construi un creier artificial care va putea să rezolve cele mai diferite și mai complicate probleme, lăsînd impresia că nu rămîne absolut cu nimic în urma creierului unui om viu. Și deodată, de mașină se apropie un băiețuș și o roagă să se joace cu el, să zicem de-a v-ați ascunselea. Mașina va trebui să-l refuze întrucît nu știe să se joace“.

Cum e oare posibil, ca un mecanism atît de perfecționat care știe să facă calcule complicate, știe să joace partide de șah cu maeștri reputați, să eșueze totuși în fața unui joc, pe care un copil îl învață în cîteva minute. Din punct de vedere algoritmic jocul propus e deosebit de simplu, iar mașina are în memorie algoritmi mult mai complicați. Dar tocmai aici stă problema : acest algoritm — simplu — nu a fost prevăzut în memoria mașinii, iar pentru a-l înscrie trebuie o întreagă programare.

Iată ce apare, în primul rînd, ca deosebire pregnantă între creierul omenesc și cel tehnic : *lipsa de versatilitate a acestuia din urmă*. Nu ușurința de calcul este o dovadă de inteligență. Se cunosc cazuri de oameni simpli, care incapabili de orice raționament abstract, efectuează calcule complicate, cu o viteză uimitoare. Un exemplu a

fost țăranul englez Zerah Colburn (1804—1840) care, în cîteva secunde, calcula pe 8 la puterea 16, sau rădăcina cubică a unui număr format din 12 cifre ; sau Verhaeghe din Belgia, contemporan cu noi — un întîrziat mintal — care în 30 de secunde calcula pe 2 la puterea 59. Nimeni nu îi consideră pe acești oameni inteligenți. Mai mult chiar, atunci cînd, prin colectă publică, Colburn a putut fi dat la școală, el și-a pierdut și această ușurință de calcul.

Versatilitatea, adaptarea la situații noi, formarea de noi conexiuni, iată ce caracterizează inteligența. Poate că cea mai aproape de adevăr este definiția lui Fogel : „inteligența poate fi considerată ca posibilitatea unui sistem decizional de a realiza un anumit grad de succes, în îndeplinirea unei mari varietăți de scopuri, într-o diversitate mare de medii înconjurătoare“¹.

Creierul omenesc este un conglomerat uriaș de celule nervoase și de conexiuni intercelulare. Dar marea majoritate a acestor conexiuni sînt inițial libere. Copilul vine pe lume înzestrat cu un număr minim de programe — exact cîte îi trebuie ca să supraviețuiască în primele luni — și cu un număr uriaș de disponibilități. Din primele clipe de viață, creierul lui începe să se organizeze, să structureze configurații neuronale simple, apoi mai complexe ; să le testeze prin acțiuni asupra mediului ; să le perfecționeze. Această admirabilă structură autoorganizabilă care este creierul dispune în tot cursul vieții individului, de un număr uriaș de grade de libertate. Cu toată sumedenia de conexiuni ce se structurează prin învățare de-a lungul activității sale, disponibilitățile creierului rămîn considerabile.

Este, poate, rezultatul cel mai spectaculos al evoluției, de a fi creat progresiv acest „venitabil rezervor de nedeterminare“ cum numește Bergson creierul omenesc. Căci o privire rapidă pe scara evolutivă a speciilor ne arată descătușarea de program, de reacții înnăscute, de instincte, cu atît mai pronunțată, cu cît animalul e mai evoluat.

¹ PIERRE de LATIL, *La pensée artificielle*, Presses Universitaires de France, Paris, 1960.

¹ L. J. FOGEL, A. J. OWENS, M. F. WALSH, *Artificial Intelligence Through Simulated Evolution*, Wiley, 1966.

Analog organismelor primitive, sistemele tehnice create de om ascultă de program. Ca și acestea ele execută un număr mai mare sau mai mic de acțiuni, le execută chiar foarte bine, dar numai pe acelea. O operație cât de simplă care nu se găsește în program nu poate fi executată; nu există disponibilități pentru a o învăța.

Pentru a face ca o mașină să învețe din experiență, să se autoorganizeze în vederea îndeplinirii unui scop, oamenii au trebuit să introducă — în mod deliberat — o anumită nedeterminare în funcționarea mașinii: posibilitatea de a întări sau slăbi unele conexiuni — ca în perceptronul lui Rosenblatt — sau posibilitatea de a alege între mai multe variante ale programului. Adică tocmai ceea ce are specific creierul omenesc.

Dar marginea de libertate a mașinii este infimă față de partea programată. Obişnuiți să creăm lucruri utile, destinate strict unui anumit scop, obişnuiți să lucrăm cu automate deterministe, cu o funcționare sigură, ne vine greu să stăpânim o funcționare doar „probabilă”. Căci nu e ușor să reproducă în numai câțiva zeci de ani un mecanism care s-a format în zeci de milioane de ani. Fără a mai vorbi că materia primă de care dispunem și cu care fabricăm aceste mașini este departe de a avea proprietățile celulei nervoase.

Dar, mai există încă un aspect al problemei care trebuie luat în considerare atunci când comparăm performanțele unei mașini cu acelea ale unui om.

Într-adevăr, inteligența umană, așa cum se manifestă ea la individul mediu, nu este numai rezultatul unui efort individual. Ea este de asemenea rezultatul perfecționărilor infinitezimale, adunate de-a lungul mileniilor de către generațiile succesive; în plus ea se șlefuește neconștient de-a lungul vieții individului, datorită interacțiunilor felurite care au loc între el și mediul social.

O asemenea interacțiune, o „societate” de mașini și încă reproductibilă, este, dacă nu imposibilă — trebuie de evitat acest termen — cel puțin de neconceput pentru moment. Aceasta ridică limite serioase concurenței pe

care inteligența tehnică (chiar cu posibilități de autoorganizare) ar putea-o face celei umane.

Rapizi, preciși, logici, acești auxiliari ai gândului nostru sînt totuși handicapați de imposibilitatea de a forma un sistem de ordin superior, în cadrul căruia să poată evolua. Clausturați în individualismul lor, unica șansă de a-și perfecționa inteligența este ca omul, creatorul și stăpînul lor, să vrea acest lucru.

CAPITOLUL IX

Amplificarea inteligenței — perspective

„...în viitor, dezvoltarea acestor mesaje și căi de comunicație, mesaje între om și mașini, între mașini și om și între mașină și mașină, sînt destinate să joace un rol din ce în ce mai mare“.

NORBERT WIENER

1. Spre o „simbioză” om-calculator

Într-un articol publicat în 1960, cercetătorul american Licklider a avut aceste cuvinte profetice : „Se poate spera că, nu după mulți ani, creierele umane și mașinile de calcul vor fi cuplate împreună foarte strîns astfel încît combinația rezultantă va putea să gîndească așa cum nici un creier omenesc n-a gîndit vreodată, și va fi capabilă de a prelucra date într-un mod nerealizat de către calculatoarele cunoscute azi”¹.

Părerii similare se întîlnesc la toți cei ce lucrează în domeniul prelucrării automate a informației și contribuie la dezvoltarea „inteligenței artificiale”. Opiniile realiste se îndreaptă nu atît spre considerarea unor roboți spectaculoși, capabili de performanțe cvasi-umane, cît spre aprecierea posibilităților și limitelor unei colaborări — de asemenea spectaculoase — între om și auxiliarul său intelectual, calculatorul.

Sistemul rezultat va fi un organism hibrid, în parte biologic și în parte tehnic, cu părți constituente care vor colabora atît de strîns încît va fi greu de spus care este

contribuția omului și care este cea a mașinii în rezolvarea problemei. Acest sistem complex de prelucrare a informației va beneficia atît de viteza și precizia circuitelor tehnice de calcul, cît și de experiența și intuiția omului. Va fi un sistem autoorganizabil de tip nou, în care omul va conversa cu mașina în limbajul său natural și în ritmul său propriu, ceea ce va permite un schimb mai dinamic de idei și intervenția mașinii în diverse faze ale procesului uman de prelucrare a informației.

O adevărată revoluție se așteaptă în următorii zeci de ani în ceea ce privește comunicația dintre om și calculator, în trecerea de la monolog la dialog. Pe măsură ce calculatorul va intra în viața omului de toate zilele, în fabrici, în magazine, în birouri și în biblioteci, introducerea limbajului natural al omului și eliminarea operațiilor de trecere la limbajul mașină devin imperios necesare. Limbajul natural este mult mai flexibil și nu are o rigiditate sintactică atît de pronunțată ca limbajele de programare (în care lipsa unei virgule, de exemplu, denaturează tot programul). În cadrul comunicației în dublu sens care se așteaptă în viitor, omul va putea formula problema chiar incomplet, mașina va cere lămuriri și completări, întreaga „programare” se va face progresiv, putînd fi modificată pe parcurs.

În prezent, omul pune problema, indică procedura de rezolvare iar mașina o execută. Omul trebuie să conceapă ipotezele și modelul unui fenomen iar mașina are rolul de a compara modelul cu datele experimentale. Dar, uneori, dificultatea constă tocmai în formularea problemei. Poincaré spunea, în acest sens : „Problema nu este : care e răspunsul ; problema este : care e întrebarea ?” Vor fi oare mașinile viitorului capabile să formuleze întrebări ? Evident, neprogramate, adică neformulate încă de oameni. Unii oameni de știință sînt sceptici în această privință. „Indiferent ce ar face mașina — scria A. Einstein — ea va fi în stare să rezolve orice fel de probleme, dar nu va putea niciodată să formuleze măcar una singură”.

Probabil, s-ar putea ca o mașină, căreia i s-au comunicat o serie de rezultate experimentale (sau care le-a obținut singură), căreia i s-au înregistrat în memorie o serie de algoritmi, să poată căuta diverse corespondențe

¹ J. C. R. LICKLIDER, *Man-Computer Symbiosis*, în „IRE Trans. on Human Factors in Electronics”, nr. 3, martie 1960.

între datele experimentale și unele aspecte logice ale fenomenului, formulând anumite întrebări. Desigur, nu întrebări de anvergură celor pe care și le-a pus marele fizician. Dar totuși, întrebări.

De fapt, problema importantă nu e dacă mașina va putea să pună întrebări omului, punându-l în încurcătură (spre marea lui satisfacție, de altminteri) ci problema este ca, în cadrul simbiozei menționate, mașina să-l ajute pe om în formularea problemelor tehnice complexe. În acest sens colaborarea a și fost inițiată, mașina ajutându-l pe om să-și precizeze direcția de cercetare pe baza unor experimente ajutătoare.

În ipotetica — dar probabila — simbioză dintre om și calculator omul va continua să pună problemele, să indice scopul, să schițeze procedura de rezolvare. Mașina va efectua calcule, va confirma sau infirma sugestiile intuitive ale omului, va indica alte căi de acțiune. Deciziile sugerate de mașină vor fi cîntărite de om, vor fi testate pe modele dinamice, programate sau generate de mașină, care să ajute operatorul în evaluarea deciziilor.

Dar, pentru ca această simbioză să devină posibilă, trebuie înlăturate obstacolele care se opun încă unei colaborări eficiente. Așa cum s-a arătat în capitolele precedente, aceste obstacole sînt legate de vitezele diferite de lucru ale partenerilor, de limbajele diferite în care „gîndesc” aceștia, de organizarea memoriei, de echipamentul de intrare și de ieșire, prin care cei doi parteneri vin în contact unul cu celălalt.

Aceste probleme fac obiectul unor intense cercetări, care duc, cu fiecare an ce trece, la o apropiere din ce în ce mai mare între om și calculator, prin ridicarea performanțelor mașinii.

Dar, să vedem mai îndeaproape, cum se manifestă interacțiunea dintre om și calculator la diverse nivele de complexitate.

3. Sisteme interconectate de oameni și calculatoare

Există diverse tipuri de interacțiuni între om și calculator sau între calculator și alte sisteme tehnice cu care

acesta este în legătură. În toate aceste cazuri, calculatorul este pus, fie să execute instrucțiuni, fie să genereze instrucțiuni, fie amîndouă. Avînd în vedere dezvoltarea pe care o vor avea în viitor aceste sisteme complexe om-calculator, a luat naștere chiar și o nouă știință numită „Sinoetica”¹ care se ocupă cu problemele ridicate de această colaborare.

a) *Colaborarea clasică : omul comandă și calculatorul execută.* Cele mai răspîndite aplicații ale acestui mod de lucru sînt cele privind rezolvarea de probleme și regăsirea informației. Interconectarea om-calculator poate avea loc ca în fig. 10.1, a, în care omul are acces direct la calculator, cu care lucrează individual. Pe măsură ce calculatoarele au devenit mai rapide, acest mod de lucru a început să devină neeconomic din cauza timpilor morți în funcționarea calculatorului. S-a trecut atunci la un alt mod de lucru. Programele de calcul ale mai multor utilizatori sînt memorate și introduse succesiv în calculator. Acesta le rezolvă pe rînd și prezintă rezultatele la ieșire, tot succesiv (fig. 10.1, b). Utilizarea calculatorului este foarte bună, el funcționează neîntrerupt, dar utilizatorul trebuie să aștepte uneori un timp prea lung, între introducerea datelor și primirea răspunsului. Aceasta a făcut ca după 1960, datorită progreselor tehnologice, să se treacă la funcționarea „cu divizarea timpului”, larg utilizată și azi. În acest tip de funcționare, calculatorul servește mai mulți utilizatori prin interfețe de intrare-ieșire separate ocupîndu-se în mod alternativ de problemele fiecăruia. Întrucît calculatorul lucrează foarte repede, utilizatorii nu au de așteptat deloc și practic nici nu observă că utilizează în comun același calculator. Terminalele de intrare și ieșire ale fiecărui beneficiar se pot afla la distanță de calculator, fiind conectate cu acesta, de exemplu, prin liniile telefonice obișnuite. Un bloc de selecție conectează succesiv calculatorul la utilizatori. Prelucrarea datelor și comanda operațiilor pot fi efectuate de același calculator, care își împarte timpul între aceste două funcțiuni. În cazul a numeroși utilizatori, sau a unor operații de prelucrare complexe, se utilizează un procesor de comandă separat. Acesta

¹ Grecește : sun (împreună), noetikos (gînd).

poate întrerupe prelucrarea unui anumit program — dacă s-a depășit un anumit timp, și comanda trecerea la servirea următorului utilizator, pentru ca acesta să nu aștepte prea mult; după care procesorul dă comanda de revenire și terminare a programului precedent.

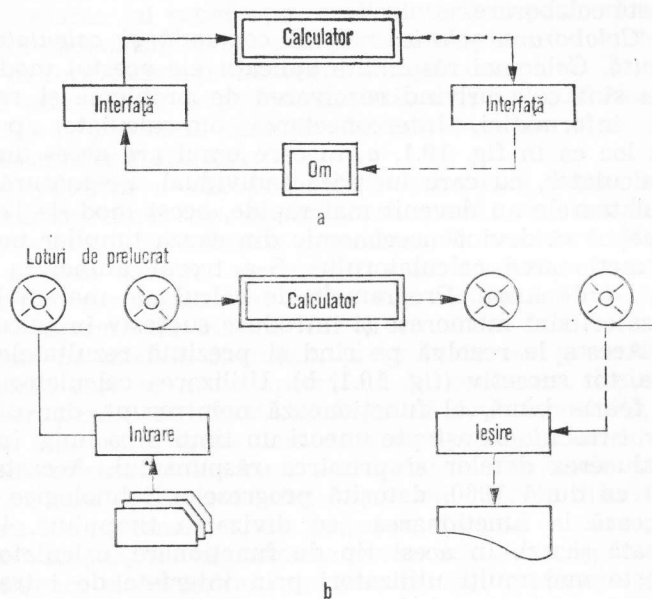


Fig. 9.1

b) *Calculatorul comandă instalații industriale.* Prelucrarea de către mașini a operațiilor de rutină și chiar a celor de asamblare, efectuate de oameni în procesele de fabricație, este una din direcțiile aplicative cele mai promițătoare, ale inteligenței artificiale¹.

La Moscova funcționează, încă din 1954, o uzină automată pentru producerea pistoanelor, cu o producție de aproximativ 3 milioane de pistoane anual (de diferite mărimi). Diversele etape ale procesului tehnologic sînt, în

¹ A. G. IVAHNENKO, *Cibernetica tehnică*, Ed. Tehnică, București, 1964.

întregime, executate de mașini. Iată cîteva din aceste operații:

— lingourile de aluminiu sînt încărcate pe transportoare automate care le aduce la cuptor;

— metalul topit este dozat de o basculă automată și pus în forme (cochilii metalice de pistoane);

— piesa topită brută este transferată unei alte mașini care o debavurează;

— pistonul este pus în container și introdus într-un cuptor de recoacere;

— pistonul traversează un tunel de răcire și merge la finisaj;

— urmează tratarea mecanică, alezajul, centrarea, rabotajul, frezarea, ajustarea, polizarea finală a suprafeței exterioare, spălarea;

— se găurește axul, se alezează canalul intern;

— se controlează diametrul, forma, deschiderea axului, și se face trierea pe grupe;

— se aplică un strat protector, se învelește în hirtie pergament, se ambalează cîte șase în cutii sigilate.

Se înțelege că operații atît de variate și complexe trebuie să fie comandate de către un sistem de calcul care să poată primi în orice moment informații asupra desfășurării procesului să le prelucreze și să genereze comenzile ulterioare. Aceste operații sînt efectuate de un sistem de calcul (fig. 10.2) format din procesoarele de date $DP_1, \dots, DP_n$ și din procesorul de comandă, CP . Un selector (S_1) culege succesiv datele de intrare, sosite din diferite puncte ale instalației, iar un alt selector, S_2 , distribuie comenzile emise de calculator pentru a fi executate de mașini.

c) *Interconexiuni multiple de oameni, calculatoare și instalații tehnice.* Un exemplu în acest sens îl oferă sistemele de transfer de cunoștințe, mai exact instalațiile de instruire programată. Un asemenea sistem include (fig. 10.3) calculatorul, elevul sau elevii și laboratorul sau mașinile cu ajutorul cărora se efectuează experiențele practice. Studentul poate pune întrebări calculatorului iar acesta poate să-i furnizeze informația dorită

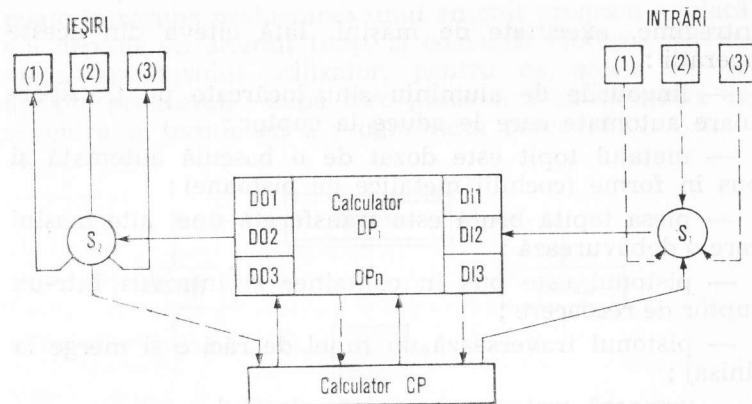


Fig. 9.2

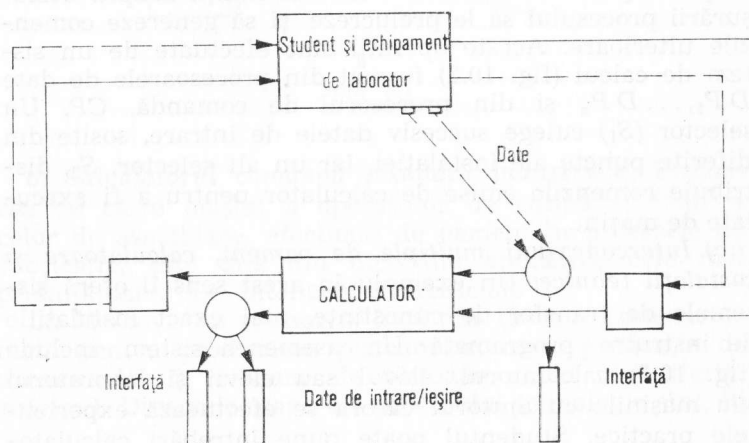


Fig. 9.3

(liniile punctate). Pe de altă parte, calculatorul poate examina pe student, acesta răspunzând conform cunoștințelor pe care le-a dobândit (liniile pline). În plus, datele asupra experimentului în curs pot fi introduse direct în calculator care le prelucrează, le comentează și indică studentului operația următoare.

d) *Rețele informaționale.* Din aceste exemple se vede cât de important este rolul pe care calculatoarele au început să-l joace în viața oamenilor. În marile întreprinderi industriale, în bănci și centre de planificare, în spitale și instituții de învățământ, peste tot unde trebuie efectuate calcule complexe într-un ritm rapid, unde se cer comenzi precise și de mare finețe calculatorul și-a făcut apariția.

Pe viitor se prevede o lărgire a rețelilor de calculatoare, formînd sisteme de calcul interconectate la nivelul orașelor, țărilor și chiar al continentelor. Cu ajutorul terminalelor existente în orice instituție, birou sau la domiciliu, oricine se va putea conecta la sistemul central de calcul, pentru a rezolva probleme, a cere informații, a solicita un diagnostic sau a urma un curs de reciclare.

Accesul individului la „rețeaua informațională” va deveni tot așa de necesar — și de comod — ca și accesul la rețeaua de energie electrică sau la rețeaua de apă. Consumul de informație va fi una din caracteristicile societății viitorului, cu profunde consecințe umaniste. Schimbul de informații va permite o mai bună cunoaștere și o mai strînsă colaborare între locuitorii planetei noastre și chiar ale altor planete. Proiectul Cyclop este inițiat în această ultimă direcție. El prevede instalarea unei rețele de câteva mii de antene de mare sensibilitate, pentru recepția eventualelor emisiuni pe care ființe inteligente de pe alte corpuri cerești. le-ar fi adresat pămîntului. Semnalele culese de aceste antene vor fi prelucrate de un sistem de calcul pentru a putea scoate la iveală eventuale „regularități” în transmisie, pentru a descifra codul necunoscut prin care un alt sistem gînditor va fi încercat să stabilească o legătură cu noi.

La scara planetei noastre creșterea legăturilor informaționale poate duce la importante prefaceri sociale și politice prin creșterea participării maselor la procesul

de conducere. Deciziile luate la această scară vor putea beneficia de concursul celor mulți, în sprijinul celor mulți. Dar aceasta nu mai depinde de mașină, ci de om. Căci, ca și alte cuceriri ale științei, dezvoltarea sistemelor informaționale poate servi, sau nu, progresului omenirii, în funcție de utilizarea pe care le-o dă omul.

Există și numeroase pericole, legate de existența acestei puternice rețele de răspândire a informației. Ea poate servi tot atât de bine la dezinformarea, la orientarea greșită a utilizatorilor ei, la întreținerea unei atmosfere străine idealurilor umanitare. Pe de altă parte, acest uriaș potențial de calcul poate fi utilizat în scopuri militare, făcând posibile distrugerii fără precedent. Și în sfârșit ca în orice sistem complex, cu multe grade de libertate, sînt posibile și accidente. Dar, în acest caz, accidentele nu se mai limitează la distrugerii locale ci, datorită însuși specificului sistemului — de comunicație — în care se pot produce, ele pot afecta rapid, întreaga planetă. Căci, în măsura în care mașinile vor prelua o parte din ce în ce mai mare din activitatea decizională a omului, o simplă eroare de calcul, nesesizată la timp, poate avea grave consecințe, economice și politice.

Omul nu trebuie să uite că poartă întreaga răspundere a calculelor și deciziilor efectuate de mașină așa cum poartă răspunderea a tot ceea ce creează și concepe el însuși.

Amplificarea inteligenței ca și amplificarea forței fizice, eliberează pe om dar, în același timp, îl împovărează cu greaua răspundere a stăpînirii acestor forțe uriașe. Insuficient controlate, ele se pot întoarce asupra omului, asemenea stihiiilor dezlănțuite. Disciplinate prin voința și priceperea sa, ele pot ridica pe culmi nebănuite civilizația omenescă, conferind în sfârșit omului mult rîvnitul statut de „homo sapiens“.

BIBLIOGRAFIE GENERALĂ

1. W. ROSS ASHBY, *Introducere în cibernetică* (trad. l. engl.), Editura tehnică, 1972.
2. N. BOTNARIUC, *Organizarea și evoluția materiei vii*, Editura științifică, București, 1967.
3. J. GUILLAUMAUD, *Cibernetica și materialismul dialectic*, Editura științifică, București, 1967.
4. S. M. MILCU, D. POSTELNICU, *Asupra variabilității conexiunii inverse în biologie* în „Revista română de biologie-zoologie“, București, nr. 2/1966.
5. J. MURPHY, *Inițiere în calculatoare numerice* (trad. l. engleză), Editura tehnică, 1968.
6. EDM. NICOLAU, C. BĂLĂCEANU, *Cibernetica*, Editura științifică, București, 1960.
7. J. SINGH, *Great Ideas in Information Theory, Language, Cybernetics*, London, 1967.
8. EDM. NICOLAU, *Analogie, modelare, simulare cibernetică*, Editura științifică și enciclopedică, București, 1977.
9. V. SĂHLEANU, *Știința și filozofia informației*, Ed. Politică, București, 1972.
10. * * *, *Dialectica metodelor în cercetarea științifică*, vol. I, II, Ed. științifică, 1966.
11. V. SĂHLEANU, *Eseu de biologie informațională*, Ed. Științifică, București, 1973.
12. ANOHIN, K. P. *Fiziologia și cibernetica-principiile generale ale ciberneticii și dezvoltarea lor*, în „Probleme teoretice ale ciberneticii“, București, Ed. științifică, 1963.

13. G. KLAUS, *Cibernetica și societatea*, Ed. Politică, București, 1966.
14. D. I. CUTLER, *Inițiere în programarea calculatoarelor*, trad. l. engleză, Editura tehnică, București, 1967.
15. S. GUIAȘU, R. THEODORESCU, *Matematica și informația*, Editura științifică, București, 1965.
16. S. GUIAȘU, R. THEODORESCU, *Teoria matematică a informației*, Editura Academiei, București, 1966.
17. A. W. ROSENBLITH, *Sensory Communication*, MIT Press-Massachusetts, 1964.
18. AL. SPĂTARU, *Teoria transmisiunii informației*, Ed. tehnică, București, 1965.
19. L. L. VASILIEV, *Hipnoză și sugestie* (trad. l. rusă), Editura tineretului, 1961.
20. J. B. RHINE, *The Research of the Mind* (Faber and Faber), 1954.
21. L. E. RHINE, *Mind over Matter*, Macmillan, London, 1972.
22. J. G. TAYLOR, *Superminds*, Macmillan, London, 1975.
23. H. FREUDENTHAL, *Limbaajul logicii matematice*, Editura tehnică, 1973.
24. EDM. NICOLAU, AL. POPOVICI, *Algoritmi. Automate finite. Calculatoare electronice*, Editura științifică, 1970.
25. EDM. NICOLAU, AL. POPOVICI, *Introducere în cibernetica sistemelor discrete*, Editura tehnică, București, 1966.
26. GR. MOISIL, *Teoria algebrică a mecanismelor automate*, Editura tehnică, București, 1958.
27. A. KREINDLER, D. APOSTOL, *Creierul și activitatea mentală*, Editura științifică și enciclopedică, București, 1976.
28. E. KATZ, *Creier uman și creier artificial*, Editura științifică și enciclopedică, București, 1977.
29. R. C. BOGDAN ș.a., *Memoriile calculatoarelor electronice*, Editura tehnică, București, 1975.
30. S. GUIAȘU, M. MALIȚA, *Triade*, Editura științifică, 1973.
31. W. WEAVER, *Doamna Șansă* (trad. l. engleză), Editura științifică, București, 1969.
32. N. NILSSON, *Learning Machines*, McGraw Hill, 1965.
33. K. SINBUCH, *Automatische Zeichenerkennung*, N.T.Z., nr. 4/1958.
34. YA. Z. TSYPKIN, *Foundations of the Theory of Learning Systems* (trad. l. rusă), New York, 1973.
35. M. MALIȚA, C. ZIDĂROIU, *Modele matematice ale sistemului educațional*, Editura didactică și pedagogică, București, 1972.
36. E. FEIGENBAUM, J. FELDMAN, *Computers and Thought*, McGraw Hill, 1963.
37. J. FLANGAN, *Speech Analysis. Synthesis and Perception*, Springer Verlag, 1963.
38. B. F. SKINNER, *Revoluția științifică a învățămîntului*. Editura didactică și pedagogică, București, 1971.
39. V. PEKELIS, *Mélanges cybérnetiques*, Editions MIR, Moscova, 1975.
40. GH. DAVIDSON, E. KOENIG, *Computers*, Wiley, 1967.
41. R. PARKMAN. *The Cybernetic Society*, Pergamon Press, Paris, 1972.

Cuprins

Cap. I Spre dezlegarea propriilor enigme	9
1. Sisteme informaționale biologice și tehnice	9
2. Autoorganizarea sistemelor biologice și tehnice	19
3. Principiul conexiunii inverse	23
4. Rolul modelelor și al simulării în cibernetică	26
5. Concepția sistemică	28
Cap. II Mecanismul comunicării	33
1. Informație în sens curent și informație în tehnică	33
2. Entropia : o noțiune veche și nouă în același timp	34
3. Transmiterea informației în sistemele tehnice	38
4. Transmiterea informației în sistemele biologice	41
5. Comunicația inter-individuală	49
6. Aspecte ale comunicației semantice	54
7. Comunicația omului cu mașina	57
Cap. III Mecanismul gândirii logice	61
1. De la logica oamenilor la logica mașinilor	61
2. Ce spun logicienii	62
3. Ce spun matematicienii	65
4. Electroniștii modelează gândirea	68
5. Modele ale neuronului și ale rețelelor neuronale	71
6. Ce se poate și ce nu se poate modela	77
Cap. IV Mecanismul memoriei	81
1. Tipuri de memorii și caracteristicile lor	81
2. O enigmă în curs de dezlegare : memoria umană	83
3. Memorii tehnice	87
4. O memorie autoorganizabilă	91

Cap. V Mecanismul deciziei	98
1 De la automatismul organismelor inferioare la libertatea funcțională a omului	98
2 Ce este o problemă de decizie	99
3 Cum putem prevedea viitorul	102
4 Evaluarea utilităților	104
5 Mașina ia decizii	106
6 Sisteme de decizie care își pot alege scopul	114
Cap. VI Mecanismul previziunii	120
1 Întimplare și necesitate	120
2 Nașterea și dezvoltarea conceptului de probabilitate	122
3 Informație, probabilitate, decizie	130
4 Evaluarea probabilităților „apriori” pe baza structurii cauzale a fenomenului	132
5 Oracole moderne	142
Cap. VII Mecanismul învățării	146
1 Autoinstruirea, o proprietate fundamentală a sistemelor biologice	146
2 Modelarea matematică a procesului de instruire	149
3 Modelul „comunicațional” al învățării	153
4 Sisteme instruibile de reglare automată	154
5 Exemple de sisteme instruibile	159
Cap. VIII Mașina pe urmele omului	166
1 Mai multă inteligență	166
2 Mașina citește și vorbește	168
3 De ce și cum joacă mașina șah?	173
4 Mașina traduce	175
5 Mașina face analogii și demonstrează teoreme	177
6 Mașina îl ajută pe medic să pună diagnosticul	179
7 Mașina profesor	182
8 A fi sau a nu fi... inteligent	184
Cap. IX Amplificarea inteligenței – perspective	188
1 Spre o simbioză om-calculator	188
2 Sisteme interconectate de oameni și calculatoare	190
Bibliografie generală	197